

Fertilização de Precisão

Avaliação da relação entre os parâmetros da análise química do solo e a cartografia da condutividade elétrica aparente

Joaquim Maria Vaz Freire de Sousa Machado

Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em

Engenharia Agronómica

Orientador: Doutor Ricardo Nuno Fonseca Garcia Pereira Braga

Orientador: Doutor Henrique Manuel Filipe Ribeiro

Júri:

Presidente: Doutora Maria do Rosário da Conceição Cameira, Professora Associada do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa

Vogais: Doutor José Paulo Pimentel de Castro Coelho, Professor Associado com agregação do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa

Doutor Ricardo Nuno da Fonseca Garcia Pereira Braga, Professor Auxiliar do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa

Lisboa, 2018

AGRADECIMENTOS

Chegada a fase de conclusão do meu curso e da minha dissertação de mestrado, existem alguns reconhecimentos que não podem deixar de ser feitos:

Ao instituto Superior de Agronomia, local onde se realizou este estudo.

Ao professor Ricardo Braga e ao professor Henrique Ribeiro pela orientação que me tem dado neste trabalho e pela disponibilidade demonstrada principalmente na fase final desta dissertação.

À Área 400 por ter disponibilizado o equipamento de medição da condutividade elétrica aparente EM38-MKII.

Aos meus pais pela disponibilidade ilimitada com que encararam toda a minha vida académica apoiando todas minhas decisões e pela orientação que me transmitiram ao longo do meu crescimento.

Aos meus amigos que tiveram e sempre terão um papel fundamental na minha vida agradeço toda a ajuda disponibilizada na recolha (em especial o Nuno e o Penteado) e tratamento das amostras de solo e ao António Lourenço sempre disponível a ajudar na análise de dados.

À minha namorada que me conseguiu sempre motivar a nunca desistir, mesmo nos momentos mais difíceis após ter começado a trabalhar.

Ao Eng^o Edgar Carapinha que sempre me motivou e me disponibilizou todo o tempo necessário a terminar esta dissertação.

Ao Eng. Miguel Martins do laboratório de Química pela ajuda no procedimento laboratorial das análises de solo.

Ao IPMA pelos dados meteorológicos diários da estação meteorológica automática Lisboa/Tapada da Ajuda

RESUMO

Este trabalho consiste no estudo de uma tecnologia já conhecida e utilizada nos nossos dias, a condutividade elétrica aparente do solo (CEa), com o objetivo de testar a sua utilidade em agricultura de precisão. A condutividade tem sido uma importante ferramenta em agricultura principalmente para medição da salinidade dos solos e para oferecer, de forma fácil e económica, um panorama da variabilidade espacial das características do solo, sendo que os valores de condutividade elétrica variam segundo a combinação de sais, mineralogia das argilas, humidade, temperatura do solo e compactação.

Esta dissertação foi feita no Instituto Superior de Agronomia em Lisboa numa vinha de 1,6 ha instalada em 2006. Foi recolhido e analisado em laboratório os dados de campo necessários para aferir a variabilidade da parcela em estudo, resultando em 114 amostras de solo para medição de CEa, pH em H₂O e KCl e 60 amostras para P₂O₅, K₂O e bases de troca (Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺). Os mesmos foram por sua vez correlacionados com as medições de condutividade elétrica aparente do solo feitas com o equipamento de impulso eletromagnético EM38-MKII.

Foi possível concluir que existe variabilidade espacial, quer da condutividade elétrica aparente quer das restantes variáveis em estudo, verificando-se um coeficiente de variabilidade para as variáveis em estudo, exceto o pH, superior a 28%, chegando a valores de 109% no caso do fósforo extraível. Não foi possível, no entanto, verificar a existência correlação entre a CEa e as propriedades químicas estudadas que, apesar de estatisticamente significativas, não vão além de 0,40 para o caso do potássio extraível.

Palavras-chave: Agricultura de Precisão; Condutividade Elétrica Aparente; Análise de Variabilidade

ABSTRACT

This work consists in a study of a well-known and already used in our day's technology, the apparent soil electrical conductivity (CEa) with the objective of developing its utility in precision agriculture. Soil conductivity measurements have been an important tool in agriculture mainly for access the soil salinity and, for being a cheap and easy way, to offer a prospect of the existing variability in a studding area being that, the electric conductivity variation it's explained by the combination of soil nutrients, clay mineralogy, soil humidity and soil temperature.

This thesis took place in Portugal, Lisbon in the University of Agriculture on a 1,6 ha vineyard installed in 2006. It was collected and analyzed in laboratory all field data necessary to access the within field variability, resulting in 114 soil samples for CEa, pH in H₂O and KCl and 60 soil samples for P₂O₅, K₂O and exchangeable base cations (Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺). The same data was by its turn correlated with the electric conductivity measured by electromagnetic based equipment EM38-MKII.

It was possible to conclude that the statistic correlation it's not strong enough to relate the apparent conductivity of the soil to the variables under study.

It was possible to conclude that exists spatial variability of both the apparent electrical conductivity and the remaining variables in study, however there is no correlation strong enough to relate them to ECa.

It was possible to conclude that exists spatial variability of both apparent electrical conductivity and the remaining variables in study, and a coefficient of variability was verified for the variables under study, above 28%, reaching values of 109% in the case of extractable phosphorus. It was not possible, however, to verify the statistics correlation and the analyzed variables, although all statistically significant, the strongest correlation did not exceed 0,40 for extractable potassium.

Key-words: Precision Agriculture; Apparent Electrical Conductivity; Within Fields Variability

ÍNDICE GERAL

| | |
|---|----|
| AGRADECIMENTOS | 2 |
| RESUMO | 3 |
| ABSTRACT | 4 |
| ÍNDICE GERAL | 5 |
| ÍNDICE DE FIGURAS | 7 |
| ÍNDICE DE QUADROS | 9 |
| Acrónimos | 10 |
| 1. Introdução | 11 |
| 1.1. Objetivos | 12 |
| 2. Revisão Bibliográfica | 13 |
| 2.1. Agricultura de Precisão | 13 |
| 2.1.1. Conceito Geral, O Seu Aparecimento e Objetivos | 13 |
| 2.1.2. Tecnologias | 14 |
| 2.2. Condutividade Elétrica Aparente (CEa) | 20 |
| 2.2.1. Sensores de Medição de CEa | 20 |
| 2.3. Técnicas de Recolha de Amostras de Solo | 23 |
| 2.3.1. Grid Sampling | 23 |
| 2.3.2. Smart Sampling | 24 |
| 2.4. Ordinary Kriging (Interpolação Espacial) | 25 |
| 3. Material e Métodos | 28 |
| 3.1. Descrição da Parcela | 28 |
| 3.1.1. Localização | 28 |
| 3.1.2. Caracterização Edáfica | 28 |

| | | |
|--------|--|----|
| 3.1.3. | Caracterização Climática | 29 |
| 3.2. | Delineamento Experimental e Metodologia Geral do Ensaio..... | 32 |
| 3.2.1. | Amostragem de Campo | 32 |
| 3.2.2. | Análise Laboratorial das Variáveis Químicas do solo..... | 34 |
| 3.2.3. | Medição da CEa | 36 |
| 3.2.4. | Cartografia das Variáveis em Estudo..... | 37 |
| 3.2.5. | Tratamento dos Dados | 37 |
| 3.2.6. | Cartas de Prescrição | 37 |
| 4. | Resultados e discussão..... | 38 |
| 4.1. | Dados de Campo..... | 38 |
| 4.1.1. | Estatística Descritiva das Variáveis em Estudo..... | 38 |
| 4.1.2. | Cartas de Interpolação dos Parâmetros em Análise | 41 |
| 4.2. | Correlação Estatística..... | 48 |
| 4.2.1. | Análise de Correlação Entre as Variáveis Químicas em Estudo e a CEa..... | 48 |
| 4.3. | Cartas de Prescrição | 53 |
| 4.3.1. | Carta de Prescrição de Potássio..... | 54 |
| 4.3.2. | Carta de Prescrição de Fósforo | 55 |
| 5. | Conclusões..... | 57 |
| 6. | Bibliografia..... | 58 |
| 7. | Anexos..... | 63 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 – Passos para a aproximação a agricultura de precisão. | 14 |
| Figura 2 – Constelação de satélites com 4 demonstrados na mesma órbita. | 15 |
| Figura 3 - Base RTK DGPS para correção de posição..... | 15 |
| Figura 4 – Componentes funcionais dos SIG. | 16 |
| Figura 5 – Método de resistividade elétrica. | 21 |
| Figura 6 – Equipamento de medição de CEa, Geonics EM38 MKII..... | 22 |
| Figura 7 – Leitura de condutividade num solo profundo (esquerda) e superficial (direita). .. | 22 |
| Figura 8 – Amostragem de grelha, 40 amostras para 20 ha..... | 24 |
| Figura 9 – Influência do numero de amostras por ha em cartografia..... | 24 |
| Figura 10 – Exemplo de variograma com dependência espacial..... | 27 |
| Figura 11 – Vinha dos Brancos, Tapada da Ajuda. | 28 |
| Figura 12 –Temperaturas anuais em Lisboa. | 30 |
| Figura 13 – Precipitação anual em Lisboa. | 30 |
| Figura 14 – Diagrama ombrotérmico de Gaussen, para a Tapada da Ajuda, ano 2017. | 31 |
| Figura 15 – Diagrama de temperaturas médias, máximas e mínimas, ano 2017. | 32 |
| Figura 16 – Localização das 114 amostras de solo..... | 32 |
| Figura 17 – Equipamento de georreferenciação Trimble Geo XT..... | 33 |
| Figura 18 – Sonda metálica e Marreta. | 33 |
| Figura 19 – Balança e condutímetro para medição de condutividade elétrica..... | 34 |
| Figura 20 – Gráfico de dispersão de condutividade com o pH. | 35 |
| Figura 21 – Localização das 60 amostras de solo..... | 35 |
| Figura 22 – Localização das 114 medições de CEa..... | 36 |
| Figura 23 – Medição georreferenciada da CEa com o EM38. | 37 |
| Figura 24 – Carta de P_2O_5 | 41 |
| Figura 25 – Carta de K_2O | 41 |
| Figura 26 – Carta de Matéria Orgânica (M.O.). | 42 |
| Figura 27 - Carta de condutividade elétrica medida em laboratório..... | 42 |
| Figura 28 – Carta de pH em H_2O | 43 |
| Figura 29 – Carta de pH em KCL. | 43 |
| Figura 30 – Carta de Sódio (Na^+). | 44 |
| Figura 31 – Carta de magnésio (Mg^{2+}). | 44 |
| Figura 32 – Carta de cálcio (Ca^{2+}). | 45 |
| Figura 33 – Carta de potássio (K^+). | 45 |
| Figura 34 – Carta da razão Ca/Mg..... | 46 |
| Figura 35 – Carta da razão K/Mg. | 47 |

| | |
|--|----|
| Figura 36 – Carta de condutividade elétrica aparente. | 47 |
| Figura 37 – Correlação da CEa com P_2O_5 extraível; K_2O extraível; pH em KCl; e Na^+ | 50 |
| Figura 38 – Correlação da CEa com pH em H_2O ; matéria orgânica; K^+ ; e Ca^{2+} | 51 |
| Figura 39 – Correlação da CEa Mg^{2+} ; razão Ca/Mg; razão K/Mg; e CE. | 52 |
| Figura 40 – Adubação em função da razão K/Mg. | 54 |
| Figura 41 – Carta de prescrição de potássio. | 54 |
| Figura 42 – Correção da recomendação de fertilização. | 55 |
| Figura 43 – Carta de prescrição de fósforo. | 56 |
| Figura 44 - Vinha dos Brancos, linhas e estações (Orientação Este – Oeste). | 63 |
| Figura 45 – Semi-variograma de K_2O | 64 |
| Figura 46 - Semi-variograma P_2O_5 | 64 |
| Figura 47 – Semi-variograma pH em H_2O | 64 |
| Figura 48 – Semi-variograma de pH em KCl. | 64 |
| Figura 49 – Semi-variograma sódio (Na^+). | 64 |
| Figura 50 – Semi-variograma da condutividade elétrica. | 64 |
| Figura 51 – Semi-variograma do potássio (k^+). | 64 |
| Figura 52 – Semi-variograma do Magnésio (Mg^{2+}). | 64 |
| Figura 53 – Semi-variograma do cálcio (Ca^{2+}). | 64 |
| Figura 54 – Semi-variograma da razão Ca/Mg. | 64 |
| Figura 55 – Semi-variograma da razão k/Mg. | 64 |

ÍNDICE DE QUADROS

| | |
|---|----|
| Quadro 1 – Progressão dos sistemas de satélites usados em PA..... | 18 |
| Quadro 2 – Dados analíticos do perfil do solo. | 29 |
| Quadro 3 – Estatística descritiva das variáveis analisadas em laboratório e a CEa | 40 |
| Quadro 4 – Análise de correlação das variáveis para as 60 amostras de campo..... | 49 |
| Quadro 5 – Valores de análise foliar de fósforo e potássio. | 53 |

ACRÓNIMOS

AP – Agricultura de Precisão

SIG – Sistemas de Informação Geográfica

GPS – Global Position System

CE – Condutividade elétrica

CEa – Condutividade elétrica aparente

DR – Detecção Remota

VRT – Variable Rate Technology

1. INTRODUÇÃO

A agricultura, atividade milenária, começou por ser extremamente dependente do local onde esta se fazia. Com os primeiros agricultores a procurar microclimas e solos que favoreciam as suas culturas de subsistência, pequena escala, e com muito recurso a mão-de-obra. Acompanhando a evolução natural da humanidade, adquiriu-se conhecimento científico e, principalmente nos últimos 150 anos, acesso a mecanização, que levou a criação e utilização de métodos comuns como lavoura, fertilizações à base de estrumes e rotações anuais de culturas, com o objetivo de aumentar as produtividades. Desenvolveram-se novas e melhores formas de preparação do solo, novas formas de proteção das culturas e mecanização para diminuir a mão-de-obra.

Com o virar do século XIX formularam-se os primeiros produtos fitofármacos e fertilizantes de síntese química e, ainda mais recente, meios de seleção genética de variedades mais produtivas. Todos estes avanços permitiram atingir níveis de rendimento quase inimagináveis para certas culturas, aumentando quase dez vezes desde o século passado até aos nossos dias (Lowenberg-DeBoer, 2015). Contudo, os campos agrícolas são tratados de forma homogénea, obtendo-se no fim da campanha uma produção heterogénea (em quantidade e qualidade), devido à desatenção dada a fatores que geram grande variabilidade para a cultura, entre os quais, o tipo de solo, topografia e drenagem.

De forma a contornar esta situação desenvolveu-se uma forma diferente de ver a produção agrícola, surgindo o conceito de agricultura de precisão (AP), que pode ser descrita como a gestão da variabilidade temporal e espacial, dentro de parcelas agrícolas, com o objetivo de melhorar o rendimento económico da atividade agrícola, quer pelo aumento da produtividade e/ou qualidade, quer pela redução dos custos de produção, reduzindo também o seu impacto ambiental e risco associado (Braga, 2009). Por outras palavras os agricultores conseguem recolher dados pormenorizados das suas parcelas e usar esse conhecimento para, da melhor forma tirar maior proveito das suas parcelas agrícolas.

A agricultura de Precisão abraça diversas tecnologias como GPS, SIG, sensores, sistemas de monitorização de produtividade, análises de solo, deteção remota e VRT. Este trabalho irá debruçar-se principalmente em sensores de medição de condutividade elétrica aparente, mas recorrendo também a deteção remota e análises de solo.

Posto isto, esta dissertação irá desenvolver a relação entre condutividade elétrica aparente e as propriedades químicas do solo, recorrendo a um equipamento móvel de medição por impulso eletromagnético (EM38-MKII Geonics Limited).

1.1. Objetivos

Os objetivos desta dissertação são:

- Avaliar a variabilidade espacial das propriedades químicas do solo da vinha da meia encosta via laboratorial;
- Avaliar a relação entre essa variabilidade e a condutividade elétrica aparente.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Agricultura de Precisão

2.1.1. Conceito Geral, O Seu Aparecimento e Objetivos

Segundo o National Research Council (1997) “A agricultura de precisão é uma estratégia de gestão que utiliza tecnologias de informação para juntar dados de diferentes fontes de modo a ajudar na tomada decisão associada à produção de culturas.”

Compreende-se a agricultura de precisão como um sistema de cultura que visa conhecer, interpretar e gerir a variabilidade espacial e temporal numa parcela de campo, visando o melhoramento económico da atividade agrícola (Braga *et al*, 2011).

Pode ser também conceptualizada por um sistema que visa aproximar-se de uma reorganização da agricultura através três pontos: “input” adequado, alto rendimento e agricultura sustentável (Shibusawa, 1998). Este novo sistema beneficia principalmente da emergência e convergência de diferentes tecnologias, incluindo sistema de posicionamento global (GPS), sistema de informação geográfico (SIG), componentes computacionais, controlo automático, processamento avançado de informação, telecomunicação e controlo remoto (Gibbons, 2000). A indústria agrícola é agora mais eficaz a recolher dados e informação sobre as variáveis de produtividade quer no tempo, quer no espaço. O desejo de responder a toda essa variabilidade a uma pequena escala tornou-se um objetivo da agricultura de precisão (Whelan *et al.*, 1997).

Os Estados Unidos da América permitiram criar os primeiros pilares da AP quando em 1983, libertaram para uso civil o sistema, até então militar, de GPS (Huisman & By, 2009). Depressa várias empresas começaram a desenvolver técnicas apoiadas nesta tecnologia como é o caso da tecnologia de taxa variável (VRT). Em Portugal, este conceito foi introduzido mais tarde, em 1996 (Serrano & Peça, 1996).

Existem três passos fundamentais para a aproximação à agricultura de precisão:

1. Identificar onde, quando e quanta variabilidade existe dentro de uma área pretendida utilizando toda a tecnologia necessária e com todos os dados georreferenciados
2. Aplicar todo o conhecimento agronómico para analisar a variabilidade existente e, deste modo, ajudar a tomar decisões para uma melhor gestão, por outras palavras transformar dados em informação.
3. Utilizar essa informação para, de forma mais eficaz possível, aumentar rendimento económico (Cambouris *et al.*, 2014) (Figura 1).

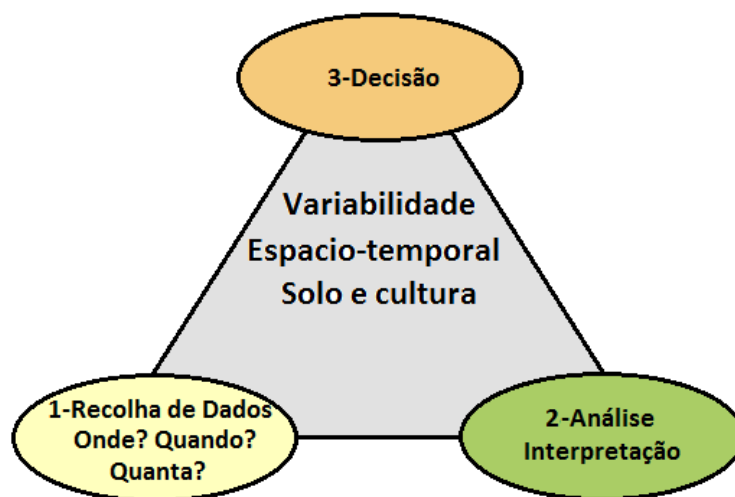


Figura 1 – Passos para a aproximação a agricultura de precisão.

Adaptado de Cambouris et al., (2014)

Embora já bastante divulgado a agricultura de precisão continua com baixa aceitação entre os empresários agrícolas Segundo Braga & Pinto, (2011), a falta de adoção deste sistema baseia-se no nível educacional/formação, idade, capacidade de investimento, conhecimento informático, recursos humanos, aversão ao risco, dimensão, perspicácia, ao nível do empresário. Em termos tecnológicos, a perçetibilidade dos ganhos, facilidade de operacionalização, custo de investimento inicial e ainda outros como a falta de prestadores de serviços, de suporte competente e eficaz por parte dos fabricantes/vendedores, são fatores limitantes ao nível da aceitação.

2.1.2. Tecnologias

Como foi acima mencionado, é cada vez mais possível a recolha de dados de variáveis de produção muito devido o avanço tecnológico que se tem vivido desde 1960. A agricultura precisão apoia-se nas mais recentes tecnologias para medir, quantificar, avaliar e monitorizar a variabilidade numa dada parcela bem como para, numa fase posterior, se for o caso, aplicar os fatores de produção em conformidade com essa mesma variabilidade (Coelho *et al.*, 2004)

Os equipamentos tecnológicos mais utilizados em agricultura de precisão são:

2.1.2.1. Sistema de Posicionamento Global (GPS)

Já quase totalmente divulgado na sociedade dos nossos dias considera-se, de forma genérica, que o GPS serve para determinar a localização de um ponto (recetor) no ar ou na superfície terrestre, indicando a sua respetiva velocidade e horário.

O GPS é constituído por um segmento espacial composto por 24 satélites NAVSTAR que enviam sinais de rádio, um recetor (segmento do utilizador) que recebe esses sinais e um segmento de controlo constituído por uma estação mestre e várias estações de monitorização (Santos, 2012). Este número de satélites, fazendo cada um a sua órbita em 12 horas, garante que qualquer ponto à superfície da terra esteja visível para pelo menos 4 satélites (Figura 2).

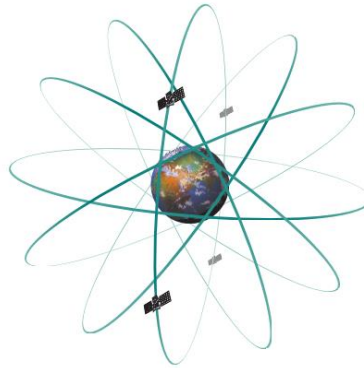


Figura 2 – Constelação de satélites com 4 demonstrados na mesma órbita.

Fonte: Huisman (2009)

À partida, o erro padrão na precisão de um sistema de GPS é de 15 metros, este desvio pode ser ainda mais inflacionado, dependendo das condições atmosféricas, obstruções físicas, ou mesmo reflexão do sinal. Para reduzir o erro pode-se utilizar técnicas de correção de posição como a correção diferencial (DGPS). Como explica Gan-Mor (2008), este sistema usa sinais de correção provenientes de várias fontes como estações terrestres ou outros satélites para compensar a degradação do posicionamento. Estes corretores de sinal são geralmente fornecidos por agências governamentais ou vendedores comerciais.

Em 1997 quando o sistema de navegação RTK DGPS (real time kinematic differential GPS) (Figura 3) tornou-se comercialmente disponível, foi possível obter precisões de aproximadamente 3 cm a um intervalo de 200 ms (Dijksterhuis *et al.*, 1998).



Figura 3 - Base RTK DGPS para correção de posição.

Adaptado: Trimble Navigation, 2003

2.1.2.2. Sistemas de Informação Geográfica

A tecnologia SIG, acrónimo de sistemas de informação geográfica, é uma ferramenta que tal como o próprio nome sugere, trabalha com informação geográfica. Para Huisman (2009), SIG é um sistema de base computacional com capacidade de trabalhar com dados georreferenciados ao nível de:

- Captura e preparação de dados;
- Gestão, armazenamento e manutenção de dados;
- Manipulação e análise de dados;
- Outputs (apresentação dos resultados da análise dos dados) (Figura 4).

Este sistema tem os dados separados em camadas (layers) e objetos. Os dados geográficos são manipulados de forma a criar nova informação e por sua vez formar uma análise espacial (Cox & Gifford, 1997).

A atividade agrícola tem vindo cada vez mais a utilizar esta tecnologia para o planeamento e gestão a nível regional e da exploração (gestão de perímetros de rega, cartas de potencial agrícola, estudos e projetos de emparcelamento, gestão da exploração). A utilização de os SIG em sistemas de Agricultura de Precisão é fundamental, dado que a maior parte das tecnologias que servem de base a estes sistemas, necessitam de informação georreferenciada (Coelho *et al.*, 2003).

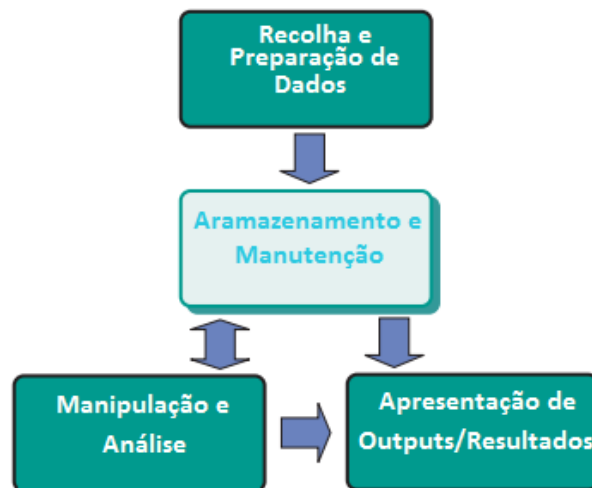


Figura 4 – Componentes funcionais dos SIG.

Adaptado de Huisman, et al., 2009

2.1.2.3. Condutividade Elétrica Aparente do Solo

A agricultura de precisão iniciou-se na década de 80, usando as novas tecnologias disponíveis para otimizar a aplicação de fertilizantes de forma diferenciada num mapa definido (Robert, 2002). Esta começou com duas filosofias diferentes, a primeira foi exemplificada como escola “farming by soil” (Larson & Robert, 1991 *cit in* Mulla *et al.*, 2013) esta defendia a realização de amostras de solo para gerir os “inputs” num mapa de solo. A segunda conhecida como “site-specific crop management” (Mulla *et al.*, 1992), em vez de analisar a variabilidade por parcela, visa analisar a variabilidade num ponto específico.

Mais tarde no início dos anos 90 emergiu uma terceira abordagem à agricultura de precisão conhecida como “proximal soil sensing”, ou seja, a utilização de sensores de medição da variabilidade espacial das propriedades do solo em tempo real (Mulla *et al.*, 2013).

Um grande avanço neste ramo da agricultura de precisão foi quando em 1993 se introduziu a medição da condutividade elétrica aparente (CEa) do solo de forma não invasiva com o EM-38 (Geonics Ltd., Mississauga, Ontario, Canada) (Carter *et al.*, 1993).

De acordo com Moral *et al.* (2010), os solos apresentam, frequentemente, uma grande variabilidade resultante de todos os processos químicos, físicos e biológicos, todos de extrema complexidade e difícil compreensão. Tendo em conta esta grande variabilidade, a medição da condutividade elétrica do solo tornou-se uma das ferramentas mais utilizadas para a avaliar.

2.1.2.4. Monitores de Produtividade

A monitorização da produtividade é uma vertente fundamental da agricultura de precisão visto que trabalha com uma das variáveis mais importantes da agricultura, a produtividade. Segundo Coelho (2009), a monitorização da produtividade permite ao agricultor determinar a variabilidade de um dos componentes chave da sua função objetivo, i.e., a receita.

Um monitor de produtividade é então um equipamento de medição em tempo real da produtividade que, quando em funcionamento com um dispositivo GPS permite a visualização da variabilidade espacial e temporal. Os dados recolhidos são armazenados para posteriormente serem processados e analisados de forma a criar mapas de produtividade.

2.1.2.5. Tecnologia de taxa Variável - VRT

A agricultura de precisão procura uma estratégia de gestão que tire o máximo proveito da variabilidade existente numa parcela, utilizando para tal, tecnologias como as VRT. As VRT

podem ser definidas como o conjunto das tecnologias utilizadas para efetuar aplicações diferenciadas dos fatores de produção, tendo em conta a informação recolhida para cada unidade de área específica (Coelho & Silva, 2009).

Esta tecnologia tem sido muito utilizada para a aplicação diferenciada de fertilizantes mas, segundo defende Thorp & Tian (2004), tem vindo a ser cada vez mais utilizada com sucesso em testes de aplicação diferenciada de herbicida e em rega (Vories *et al.*, 2017).

Embora já bem estudada e divulgada esta tecnologia, como acontece com a agricultura de precisão em geral, tem demonstrado uma aceitação lenta por parte dos agricultores quer em Portugal que, segundo Braga (2014), julga não existir qualquer utilização comercial até ao momento, apesar de haver pelo menos um prestador a oferecer essa possibilidade, quer a nível internacional, Lowenberg-DeBoer e Swinton (2007) defende que a principal causa para a falta de rentabilidade das VRT acontece pela falta de informação dos agricultores sobre a resposta da cultura aos inputs, as características da parcela e condições climáticas. Afirma ainda que a informação e a VRT são complementares economicamente falando.

2.1.2.6. Detecção Remota

A deteção remota foi só considerada uma componente da agricultura de precisão em 1990, quando foi possível utilizar imagens do sistema Landsat para analisar padrões espaciais da quantidade de matéria orgânica do solo (Bhatti *et al.*, 1991). Desde então, a captação de imagens via satélite (multi e hiperespectral) tem vindo crescer sendo fundamental para ajudar a desenvolver a agricultura de precisão (Quadro 1).

Quadro 1 – Progressão dos sistemas de satélites usados em PA.

Adaptado de (Mulla, 2013)

| Ano | Satélite | Resolução Espacial | Período de Retorno (Dias) | Banda |
|------|--------------|--------------------|---------------------------|-----------------------------------|
| 1984 | Landsat 5 TM | 30m | 16 | R, G, B, two NIR, MIR, TIR |
| 1999 | IKONOS | 1 - 4 m | 3 | Panchromatic, R, G, B, NIR |
| 2001 | QuickBird | 0,6 - 2,4 m | 1 - 4 | Panchromatic, R, G, B, NIR |
| 2008 | RapidEye | 6,5 m | 5,5 | R, G, B, red edge, NIR |
| 2008 | GeoEye | 1,6 | 2 - 8 | Panchromatic, R, G, B, NIR1, NIR2 |
| 2009 | WorldView-2 | 0,5 | 1,1 | R, G, B, Y, P, red edge, NIR |

A deteção remota em agricultura tem como base a interação da radiação eletromagnética com o solo e material vegetativo. Refere-se, portanto, a uma medição sem contacto da radiação refletida ou emitida dos campos agrícolas. As plataformas que permitem estas leituras incluem satélites, aviões/drones, tratores e aparelhos manuais (estes dois últimos

chamados sensores de proximidade). Grande parte dos estudos afirmam que a banda 2 (0.52 – 0.60 μ m) do espectro eletromagnético é a mais apropriada para recolher informações de material vegetativo, enquanto a banda 4 (0.76 – 0.90 μ m) e 7 (2.08 – 2.35 μ m) é apropriável para medições de humidade do solo, matéria orgânica e quantidades e tipos de argilas.

De todas as ferramentas que a detecção remota disponibiliza, umas das mais importantes e utilizadas são os índices vegetativos, entre estes o NDVI (Normalized Difference Vegetative Index) lido através da reflectância, do objeto, nas bandas do infravermelho próximo (IVP) e do Vermelho (V).

Segundo Penteado (2014) o valor de NDVI (adimensional) estará compreendido num intervalo entre -1 e 1 para a generalidade dos corpos e 0 a 1 para as plantas e corpos na superfície terrestre, em que a unidade representa o estado máximo de vigor para uma planta. Os valores de NDVI próximos de 0, são indicadores de que as plantas se encontram em stress (hídrico ou outros).

2.1.2.7. Sensores de medição de parâmetros do solo

O conhecimento que hoje temos sobre as propriedades únicas do solo é em muito, graças a todo o trabalho de análises químicas, físicas, mineralógicas e biológicas. A amostragem intensiva, quadrícula a quadrícula, é o método geralmente utilizado para obter a informação detalhada dessas propriedades, o que envolve trabalho intensivo de recolha e tratamento laboratorial das amostras que o tornam um processo caro e impraticável à escala das explorações agrícolas (King *et al.*, (2005) *cit in* Serrano *et al.*, 2010).

Mundialmente existe muita investigação no sentido de desenvolver sensores de medição de parâmetros do solo tal como técnicas para a sua utilização. A maior parte das mesmas usando frequências do campo eletromagnético (Rossel *et al.*, 1998)

Por exemplo, tem-se usado, para compreender a variedade espacial do solo, Raios-X fluorescente (XRF) e indução de laser por espectroscopia (LIBS) para medir elementos químicos do solo, vis-NIR e infravermelho próximo para medir os níveis de carbono e a sua mineralogia, radar (GPR) para avaliar a quantidade de água no solo e indução eletromagnética (EMI) para medir a condutividade elétrica do solo (Rossel *et al.*, 2007). Muitas destas tecnologias ainda tão em desenvolvimento enquanto outras encontram-se disponíveis comercialmente como a EMI sendo esta também a mais utilizada atualmente. (Lesch *et al.*, 2005).

Um sensor pode fornecer dados diretos ou indiretos de propriedades de interesse no solo, um exemplo de medição da variabilidade de forma direta é o penetrometro, sensor que mede

a resistência do solo, feito conseguido por Stafford e Hendrick (1988), de outra forma existe muitas alternativas de medição indireta da variabilidade como a utilização de sensores de infravermelho-próximo para estimar a humidade e matéria orgânica do solo. (Sudduth *et al.*, 2001)

2.2. Condutividade Elétrica Aparente (CEa)

Como já foi anteriormente referido, a condutividade elétrica aparente (CEa) do solo é a capacidade para conduzir corrente elétrica através de impulsos eletromagnéticos. Segundo o departamento de agricultura dos Estados Unidos, (2011) é um processo de eletrólise em que Cátions (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , e NH_4^+) e aniões (SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- e HCO_3^-) provenientes de sais dissolvidos em água contendo carga elétrica que por sua vez conduzem corrente elétrica, consequentemente, a concentração de iões vai determinar a CEa do solo. Inicialmente a CEa foi usada principalmente para medir a salinidade do solo (Corwin & Lesch, 2005).

Outros autores estudaram a relação entre a CEa e os valores de amostragens de solo de pH obtendo correlações significativas (Serrano *et al.*, 2010), assim como também se tentou mapear os teores de água do solo e a sua dinâmica com recurso à condutividade elétrica aparente (Zhu *et al.*, 2010).

2.2.1. Sensores de Medição de CEa

Existem dois métodos principais para a medição em tempo real da condutividade elétrica aparente do solo para obter, de forma rápida e económica, uma medição da variabilidade existente.

Um dos métodos mede a resistividade do solo (medida inversamente proporcional à condutividade elétrica) usando o equipamento Veris (Veris Technologies, Salina, KS, 67401, Lund *et al.*, 1999). No segundo método, a medição da CEa é feita por indução electro magnética com o equipamento EM38 (EM38, Geonics Limited, Mississauga, Ontario, Canada, L5T 1C6, McNeill 1992) (Fulton *et al.*, 2011).

Vários testes e experiências tem vindo a ser realizados para correlacionar a CEa a diversas propriedades do solo com o objetivo de mapear de forma mais completa possível a variabilidade. Como por exemplo Serrano *et al.*, (2013), conseguiram ter correlações significativas com pH e rendimento, Javier, *et al.*, (2015) conseguiram boas correlações com potássio e cálcio, Fortes, *et al.*, (2015) encontraram evidência estatística com água disponível, areia e argila do solo.

2.2.1.1. Veris

O método de resistividade elétrica (RE) tem como base a introdução de corrente elétrica através de eletrodos à superfície do solo, a diferença de potencial de fluxo de corrente é medida nos eletrodos de potencial. Este sistema foi desenvolvido na segunda década dos anos 90 por Conrad Schlumberger e Frank Wenner (Corwin & Lesch, 2005) (Figura 5).

A técnica de RE tem várias vantagens aplicáveis na medição de variabilidade a escala de campo, como por exemplo, a facilidade de alterar a profundidade e volume de solo a analisar simplesmente por alterar a distância entre eletrodos. No entanto, como descrito por Corwin & Lesch (2005), é um método invasivo que requer bom contacto com o solo, consequentemente pode produzir dados menos fiáveis em solos secos ou pedregosos, comparado com métodos não invasivos.

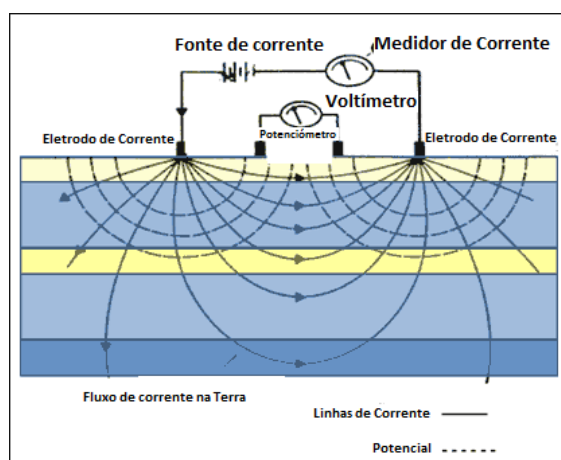


Figura 5 – Método de resistividade elétrica.

Fonte: P. Chandra

2.2.1.2. EM38

Esta tecnologia utiliza indução eletromagnética para a medição da CEa, sendo este um método não invasivo. O EM38 (Figura 6) foi criado para ser utilizado manualmente embora, pode facilmente ser incorporado em estruturas móveis desde que estas não possuam componentes metálicos que iriam distorcer os dados (Lesch *et al.*, 2005). As primeiras

experiências foram efetuadas no início dos anos 80 para a medição de salinidade do solo (de Jong et al., 1979; Rhoades & Corwin, 1981; Corwin & Rhoades, 1982; Williams & Baker, 1982, cit in Corwin & Lesch, 2005).



Figura 6 – Equipamento de medição de CEa, Geonics EM38 MKII.

Fonte: autor

O EM38 funciona com duas bobinas localizadas em cada ponta do aparelho espaçadas de um metro, uma transmissora e outra receptora e opera com uma frequência 14.6KHz.

Este equipamento tem possibilidade de medição a duas profundidades consoante a posição, verticalmente possibilita medições até 1.5m enquanto que, em posição horizontal permite até 0.75m de profundidade.

A Figura 7 ilustra, esquematicamente, o funcionamento do EM38 para diferentes profundidades do solo assumindo que a camada superficial do solo é pouco argiloso (baixa condutividade) comparado com a camada inferior. O EM38 induz elipses de corrente elétrica no solo, a corrente em cada uma é proporcional à condutividade. demonstra (Sudduth *et al.*, 2001).

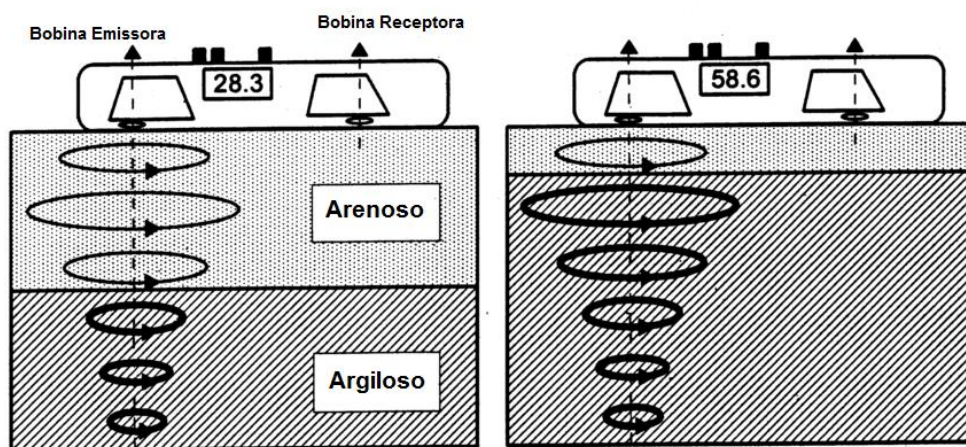


Figura 7 – Leitura de condutividade num solo profundo (esquerda) e superficial (direita).

Fonte: Sudduth *et al.*, (2001)

2.2.1.3. Smart Sampling e Grid Sampling

O objetivo de fazer análises de solo é, historicamente, determinar em média a fertilidade de uma parcela. Em agricultura de precisão os objetivos são os mesmos, mas com algumas modificações. Em vez de conhecimento de uma parcela, como um todo, os produtores estão interessados em conhecer a variabilidade, para além disso há interesse em relacionar as variações da fertilidade do solo com outras propriedades do solo fáceis de medir como a condutividade. Como é referido por Ferguson *et al.*, (2012), em AP é fundamental cruzar todo o conhecimento de fatores que influenciam a fertilidade do solo incluindo o tipo de solos, topografia, históricos culturais, aplicações de estrumes e fertilizantes ou mesmo nivelamento para regadios, e desta forma a ajudar o agricultor na tomada de decisão, que neste caso significa a melhor forma de recolha de amostras.

Os princípios básicos de recolha de amostras de solo ainda se adequam à agricultura de precisão, o número de amostras tem de ser suficiente para caracterizar adequadamente o nível de nutrientes, as amostras têm de ser recolhidas a profundidade apropriada para nutrientes móveis e não móveis no solo e devem ser manuseadas e armazenadas de forma a reduzir contaminação e degradação.

2.3. Técnicas de Recolha de Amostras de Solo

2.3.1. Grid Sampling

A evolução da agricultura de precisão apoiada no sistema de posicionamento global (GPS) e em tecnologias de fertilização a taxas variáveis (VRT) obrigou a um conhecimento aprofundado da fertilidade do solo, o que levou a um método intensivo e esquemático de recolhas de amostras de solo, ou seja, grid sampling. Este é feito colocando simplesmente uma grelha quadrangular ou retangular sobre um mapa ou imagem de uma parcela dividindo-a em várias células. As amostras devem ser feitas num ponto específico dentro de uma quadrícula da grelha ou nos pontos de intersecção das células da grelha (Wollenhaupt & Wolkowski, 1994). Para que seja significativa, em cada amostra devem fazer-se várias recolhas num espaço circundante de 30cm do ponto (Figura 8).

Segundo Ferguson *et al.*, (2012) uma carta de nutrientes, de uma grid sampling, bem executado pode ser um recurso de valor acrescentado durante 10 a 20 anos para valores de matéria orgânica e capacidade de troca catiónica, 5 a 10 anos para o pH, e 4 a 5 anos para

fósforo, potássio e zinco. Para esta confiança e precisão (Harrell, 2014) defende a utilização de aproximadamente duas amostras por ha

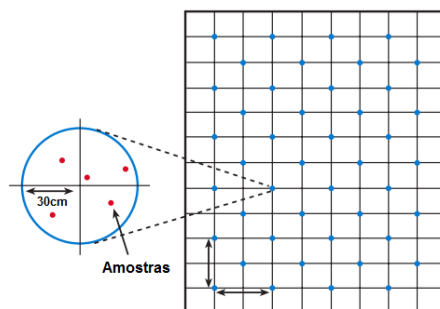


Figura 8 – Amostragem de grade, 40 amostras para 20 ha.

Fonte: Ferguson et al., (2012)

2.3.2. Smart Sampling

Os métodos tradicionais de recolha de amostras de solo incluindo o grid sampling, podem resultar em sub ou sobre fertilizações em grandes zonas de uma parcela que pode resultar em ineficiência económica, quer pela aplicação em excesso ou pelo baixo rendimento provocado pela subaplicação de fertilizantes, provocando também um desnecessário risco de impacto ambiental (Harrell, 2014). Estes fatores aliados ao elevado custo das análises de solo laboratoriais levaram ao desenvolvimento de novas metodologias de amostragem como o *smart sampling*.

Reduzir o número de amostras não é um processo simples, se não forem representativas em número, a correlação espacial pode levar a erros quando se realiza a relação entre os dados do solo e cartografias (Atkinson, 2002). Por exemplo, quando se pretende verificar se existe relação entre a fertilidade do solo e uma carta de produtividade a correlação pode ser baixa se a amostragem for pouco representativa (Figura 9).

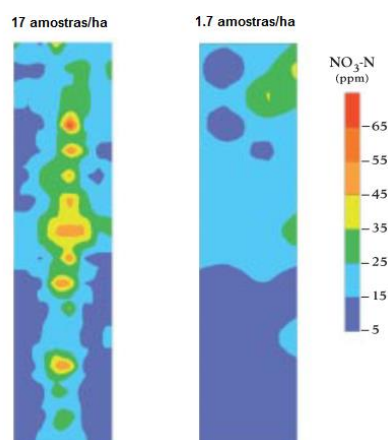


Figura 9 – Influência do numero de amostras por ha em cartografia.

Adaptado de Ferguson et al., (2012)

Tendo isto em conta, o smart sampling para que seja estatisticamente robusto e economicamente viável deve ser feito com base no cruzamento do conhecimento adquirido da parcela em estudo (Fitzgerald *et al.*, 2006). Ao relacionar uma carta de produtividade com uma de condutividade elétrica do solo, deve-se separar as zonas de acordo com a variabilidade existente, zonas de grande homogeneidade requeem menor número de amostras pois, a diferença entre as mesmas não será significativamente relevante. Zonas que por outro lado apresentem grande heterogeneidade necessitam de maior densidade de amostragem para ajudar a compreender o porquê de tanta variabilidade.

Considerar *Grid Sampling* se (Ferguson *et al.*, 2012):

- A gestão anterior alterou significativamente os níveis nutricionais do solo (encabeçamento intensivo, grandes aplicações de estrumes, nivelamento agressivo para regadio);
- Pequenas parcelas individuais com precedentes culturais diferentes foram unidas numa só;
- Pretende um mapa de níveis de matéria orgânica pormenorizado.

Considerar *Smart Sampling* se (Ferguson *et al.*, 2012):

- Existe mapas rendimento, imagens remotas e outros tipos informação espacial disponível;
- Existe conhecimento prévio e experiência por parte do agricultor da parcela a amostrar;
- Histórico de encabeçamento e influência de estrumes baixo ou nulo.

2.4. Ordinary Kriging (Interpolação Espacial)

Para criar cartas derivadas de qualquer informação adquirida é necessário relacionar os dados recolhidos, feita por ferramentas dos SIG de análise espacial, como o QGIS. Essa relação chama-se interpolação espacial de variáveis. David Mulla foi o primeiro a aplicar a geoestatística em agricultura de precisão (1988) ao tentar mapear o padrão de P e K no solo (Oliver, 2010). Segundo Childs (2011) a interpolação é então um processo usado para prever o valor de células em zonas que não foram executados pontos de amostragem. Tem como base o princípio de autocorrelação espacial ou dependência espacial, que vai medir a relação/dependência entre objetos com menor ou maior distância entre si.

A autocorrelação espacial determina se os valores estão interrelacionados, e se estão, determina se existe um padrão espacial. Esta correlação é usada para medir:

- A semelhança de objetos numa área;
- O quão um fenómeno espacial está correlacionado entre si no espaço;
- O nível de interdependência entre variáveis;
- A natureza e força dessa interdependência.

Diferentes métodos de interpolação em grande maioria originam resultados diferentes (Childs, 2011).

Existem dois principais métodos de interpolação: determinista como é o caso do método inverse distance weight (IDW) e geoestatístico, como o caso de ordinary kriging e cokriging (Li & Heap, 2008).

Todos os métodos de interpolação foram desenvolvidos baseados na teoria que pontos mais perto uns dos outros têm uma maior correlação e similaridade que pontos mais afastados. O método IDW assume que o grau de correlação e similaridade entre pontos vizinhos é inversamente proporcional à média ponderada da distância dos mesmos (Setianto & Triandini, 2013). Por apenas estimar valores de células pela distância, este método extremamente está dependente da quantidade e dispersão amostras na parcela.

Ordinary Kriging é um dos métodos mais básicos de kriging e geralmente mais utilizado em caso relacionados com agricultura (Pringle, 2007). Este modelo estima os valores em locais não amostrados por uma média ponderada das amostras mais próximas.

As correlações entre valores vizinhos são modeladas em função da distância geográfica entre os pontos da área em estudo, definidos por um variograma (Miller, 2007). A distribuição espacial da variável em estudo é analisada usando um variograma que não é mais que uma representação gráfica da dependência espacial obtido pela variância versus a distância que é estimado pela seguinte equação:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^N [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2$$

Onde $Z(x_i)$, $Z(x_i+h)$ é o resíduo estimado dos modelos de regressão múltipla nos pontos x_i e x_i+h separados por uma distância h , $N(h)$ é o numero total de pares de pontos separados pela distancia h (Eldeiry & Garcia, 2009).

Segundo Vieira *et al.*, (2008), é a grandeza mais aproximada para verificar se existe ou não dependência espacial. Se se verificar, haverá um crescimento na semivariância até uma

determinada distância, a partir da qual o variograma se estabiliza. Caso contrário, se o variograma não apresentar um crescimento com a distância, as amostras são independentes ocorrendo o efeito de aleatoriedade, chamado de efeito pepita puro.

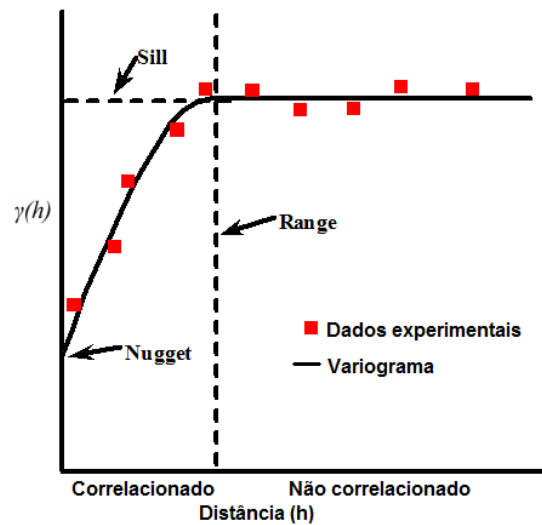


Figura 10 – Exemplo de variograma com dependência espacial.

Os variogramas atendem normalmente a um certo número de características como ilustrado na Figura 10:

1. A variância é baixa para valores com pouca distância (h) mas aumenta com o aumento de h , contudo a partir de um certo ponto o gráfico nivela num formato conhecido como patamar (*sill*);
2. A distância a qual o gráfico nivela é chamada de alcance (*range*), distâncias inferiores a esta, ou seja, os pontos mais próximos são provavelmente mais semelhantes que pontos mais afastados. A pontos com maior distância que range, pontos não exercem influência entre os mesmos;
3. O gráfico de semivariância pode não passar na origem, a distância à origem é chamada de nugget e representa a quantidade de erro não espacialmente autocorrelacionado.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Descrição da Parcela

3.1.1. Localização

A vinha em estudo, Vinha dos Brancos ou Vinha da Meia Encosta representada na Figura 11, está inserida na região de Lisboa, no Instituto Superior de Agronomia, tendo as coordenadas 38°42'N e 9°11'O, a uma altitude média de 53 metros. Esta apresenta uma área de 1,6 hectares, constituída de sete castas. A vinha foi instalada em 2006 com uma orientação Norte-Sul e uma densidade de plantação de 4000 plantas por hectare, resultante de um compasso de 2,5 por 1,0 m.



Figura 11 – Vinha dos Brancos, Tapada da Ajuda.

Fonte: Google

3.1.2. Caracterização Edáfica

Segundo as classificações *World Reference Base for Soil Resources* (WRB) e dos Solos de Portugal, os solos da Tapada são classificados como vertissolos.

Este tipo de solos apresenta 4 tipos de horizontes: Ap, B, BC e C.

O horizonte Ap tem entre 20 a 30 cm, com tonalidades castanho-avermelhadas, sendo a sua textura de argilosa a franco-argilosa. A sua estrutura é subangulosa média ou anisoforme

angulosa, sendo um solo bastante aderente, plástico, firme e duro, fendilhando quando muito seco. O seu pH varia de 6,5 a 7,5 e não reage á aplicação de HCl.

O horizonte B₁ tem entre 10 e 60 cm sendo idêntico ao Ap, diferindo na sua estrutura, que é grosseira-forte ou prismática. O pH varia de 6,5 a 7,5.

O horizonte BC tem entre 10 e 15 cm representando uma mistura de material idêntico ao dos horizontes Ap e B (areia, argila e pedra). O seu pH varia entre 6,5 e 7,5.

O horizonte C é constituído de material originário da meteorização de basaltos, doleritos ou outras rochas eruptivas.

Segundo Medina (1973), a parcela da vinha dos brancos apresenta solos derivados de rocha basáltica de perfil Ap Bw C de espessura de 80 a 114 cm com poucos ou alguns elementos grosseiros, incluindo pedras e calhaus (quadro 2).

Quadro 2 – Dados analíticos do perfil do solo.

Fonte: Victorino G. (2015), Adaptado: Medina (1973)

| Profundidade (cm) | 0 a 4 | 4 a 30 | 30 a 80 | 80 a 100 |
|-------------------------------------|-------|--------|---------|----------|
| Fração > 2 mm | 12 | 10 | 11 | 12 |
| Areia grossa (%) | 12,5 | 9,2 | 9,3 | 8,5 |
| Areia fina (%) | 21,3 | 19,6 | 20,4 | 22,9 |
| Limo (%) | 23 | 22,5 | 21,4 | 29,9 |
| Argila (%) | 43,2 | 48,7 | 48,9 | 38,7 |
| Carbonatos em CaCO ₃ (%) | 0 | 0 | 0 | 1,6 |

3.1.3. Caracterização Climática

Segundo a classificação climática de Köppen, o clima de Lisboa/Ajuda é mesotérmico húmido, com um Verão quente e seco (temperaturas superiores a 20⁰ C) e um Inverno fresco e chuvoso, sendo que a sua temperatura média é superior a 10⁰ C. Ou seja, tem uma classificação Csa.

As coordenadas geográficas da tapada são (38°42'27.6"N 9°10'56.3"W) com uma altitude que varia entre os 20 a 140m acima do nível do mar (Matos, 1994).

Desde de 1914 que o Instituto Superior de Agronomia tem em funcionamento uma estação meteorológica e que fornece duas observações diárias desde 1951, às 9h e 21h. São estas observações que vão poder caracterizar fidedignamente os aspetos climatéricos da área em estudo (Pina, 2011).

No período entre 1981 e 2010 a temperatura média máxima foi de 28,3°C em agosto e 14,8°C em janeiro. A média de temperatura mínima foi de 18,6°C e a 8,3°C nos mesmos meses. O máximo registado foi 41,8°C em agosto, sendo que, o mínimo foi de 0.2°C em março (Figura 12).

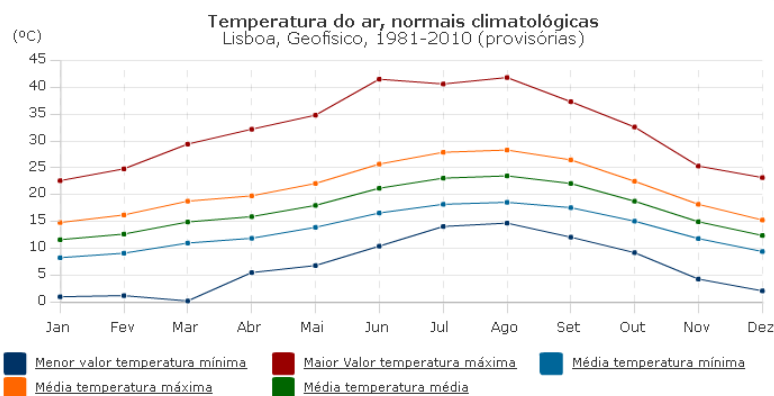


Figura 12 – Temperaturas anuais em Lisboa.

Fonte: IPMA

Para o mesmo período de observação registou-se, segundo o IPMA, um total médio de precipitação de 774 mm comum semestre húmido regular correspondente 76.6% da precipitação total e um semestre seco de chuvas regulares correspondente a 23.4% da precipitação. O mês com maior precipitação é o de novembro com 127,6 mm e o menos chuvoso é o de agosto com 4,2 mm (Figura 13).

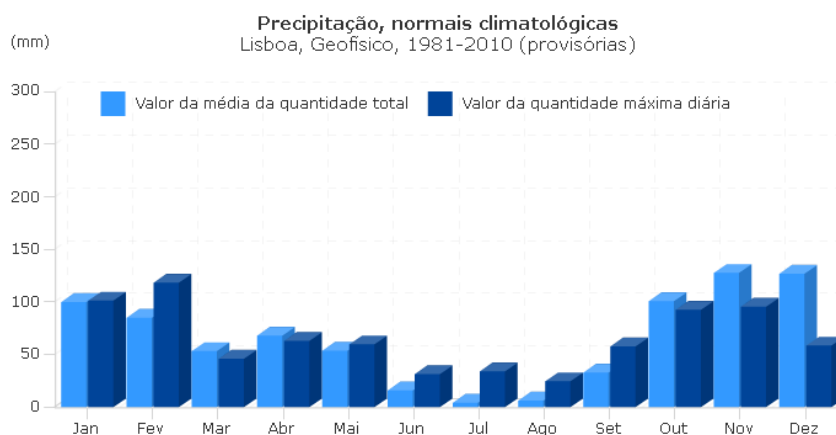


Figura 13 – Precipitação anual em Lisboa.

Fonte: IPMA

Segundo Matos (1994), as medições de humidade relativa, em %, são feitas duas vezes ao dia às 9h e às 21h sendo estas horas uma boa aproximação da média das 24 h diárias. O valor médio anual registado foi de 77%, atingindo o máximo em janeiro com 87% e o mínimo em julho com 68%.

Ainda de acordo com o mesmo autor, a Tapada apresenta valores de Insolação anual média de 2965 horas, onde o mês mais quente (julho) chega a apresentar valores de 374 horas. Já em meses mais frios (dezembro e janeiro), a insolação não passa de valores médios de 153 horas.

De acordo com os dados meteorológicos diários da estação meteorológica automática Lisboa/Tapada da Ajuda, no ano de 2017, os meses de maior temperatura média (Figura 14 foram agosto (22,5°C), julho (22,0 °C) e julho (21,7 °C), ao mesmo tempo que os meses de setembro, junho e julho foram os de menor precipitação (0,6 mm, 1,6 mm e 2,2 respetivamente). Os meses de menor temperatura média foram janeiro (10,5°C), dezembro (11,4°C) e fevereiro (12,7 °C). O mês mais chuvoso foi março, com um total de 81,9 mm, seguido de fevereiro, com 63,2 mm e dezembro, com 58,5 mm (Figura 15).

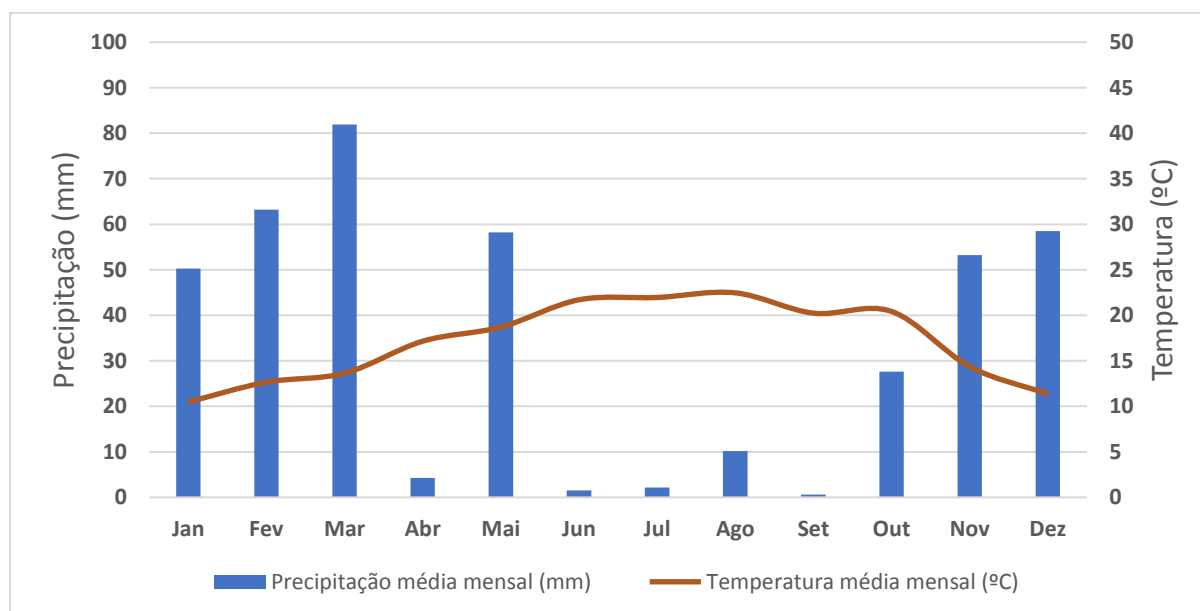


Figura 14 – Diagrama ombrotérmico de Gaussen, para a Tapada da Ajuda, ano 2017.

Fonte estação meteorológica automática Lisboa/Tapada da Ajuda

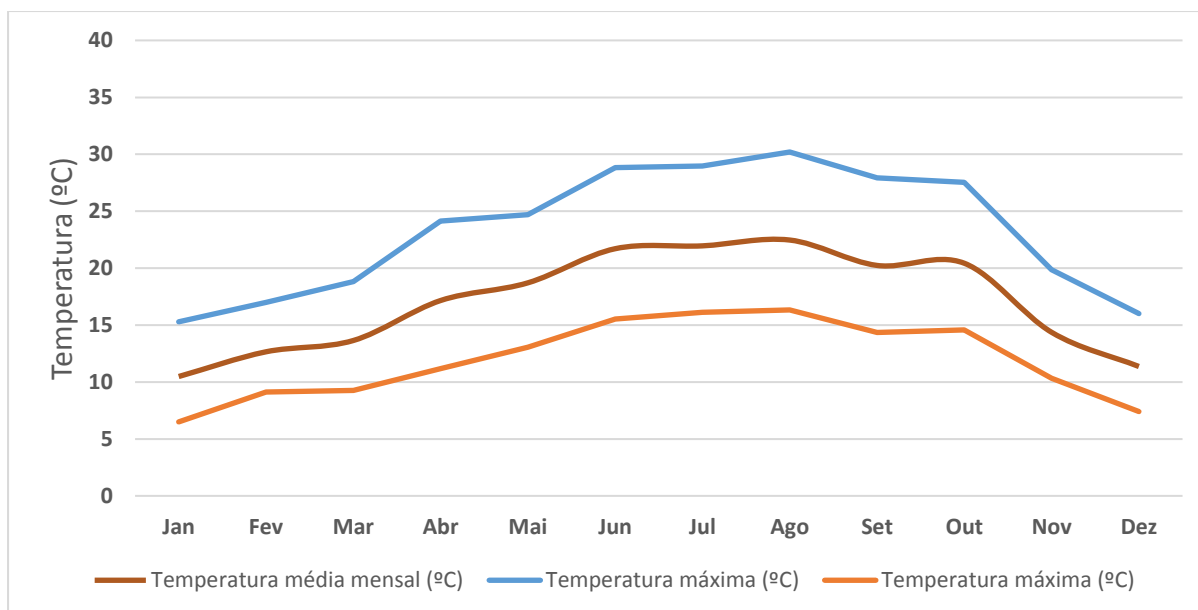


Figura 15 – Diagrama de temperaturas médias, máximas e mínimas, ano 2017.

Fonte: Estação meteorológica automática Lisboa/Tapada da Ajuda.

3.2. Delineamento Experimental e Metodologia Geral do Ensaio

3.2.1. Amostragem de Campo

Nesta parcela procedeu-se a uma recolha intensiva de 114 (Figura 16) amostras de solo nos 1,6 ha para aferir, via análise laboratorial, de forma representativa, a variabilidade da condutividade elétrica e pH existente.

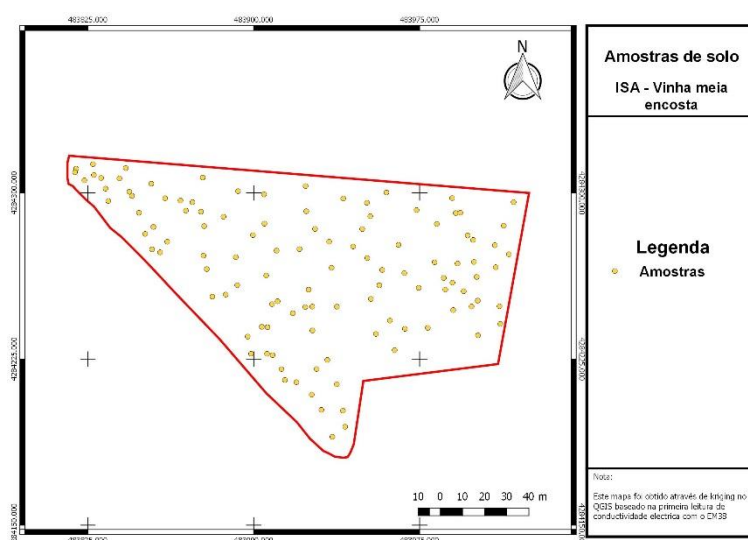


Figura 16 – Localização das 114 amostras de solo.

A vinha em estudo tem atualmente 82 linhas, cada linha tem entre 2 e 20 estações, compreendendo que uma estação é a distância entre dois postes com seis videiras entre os mesmos. Para identificar cada uma das amostras foi utilizado a seguinte codificação adaptado de Victorino (2015):

“LX_E”, em que “X” corresponde ao número da linha e “E” corresponde ao número da estação, contagem de Norte para Sul (exemplo: L25_2 corresponde à segunda estação da Linha 25) (Figura 42 em anexo). Todas as amostras foram georreferenciadas com o auxílio do equipamento de precisão Trimble Geo XT (Figura 17), com 10 medições por ponto a amostrar.



Figura 17 – Equipamento de georreferenciação Trimble Geo XT.

Fonte: Autor.

As amostras foram recolhidas com uma sonda metálica e auxílio de uma marreta de 3 kg, a uma profundidade de aproximadamente 20 cm (Figura 18), para que seja representativa, cada amostra foi composta de cinco recolhas, a um raio máximo de 30 cm da primeira. Executadas de acordo com os procedimentos estabelecidos e as normas do manual de fertilização das culturas do Laboratório Químico Agrícola Rebelo da Silva (LQARS, 2006).



Figura 18 – Sonda metálica e Marreta.

Fonte: Autor.

As 114 amostras foram armazenadas em sacos de plástico, etiquetados com papel cartolina e tinta permanente. Após todas serem recolhidas, foram colocadas em estufa a temperatura

regular de 40° C durante cinco dias para que perdessem toda a humidade. Depois de totalmente secas, para que se possa proceder a análise laboratorial, foram desterroadas e crivadas em malha de 2 mm, todas as análises foram realizadas na terra fina.

3.2.2. Análise Laboratorial das Variáveis Químicas do solo

Após crivadas, as amostras seguiram para laboratório para análise do pH em H₂O, do pH em KCl e da condutividade elétrica.

Para a determinação do pH pesou-se 10 g (Figura 19) de terra para um frasco de agitação e adicionou-se 25 mL de água (pH em H₂O) ou 25 mL de uma solução de KCl 1M (pH em KCl) e após uma hora de agitação o pH da suspensão foi medido com um potenciómetro.

A condutividade elétrica foi medida na suspensão solo/água com um condutímetro (Figura 19).



Figura 19 – Balança (esquerda) e condutímetro para medição de condutividade elétrica (direita).

Fonte: Autor.

Conseguiu-se com estas análises ter uma ideia da variabilidade de pH e condutividade da parcela.

Devido aos elevados custos das análises laboratoriais reduziu-se o número das mesmas, para tal, fez-se uma amostragem estratificada (smart sampling). Das 114 amostras selecionou-se proporcionalmente (número de amostras por classe de pH/CE) a partir de um gráfico de dispersão (Figura 20) adicionaram-se mais 10 amostras de modo a manter a amostragem representativa em termos espacial.

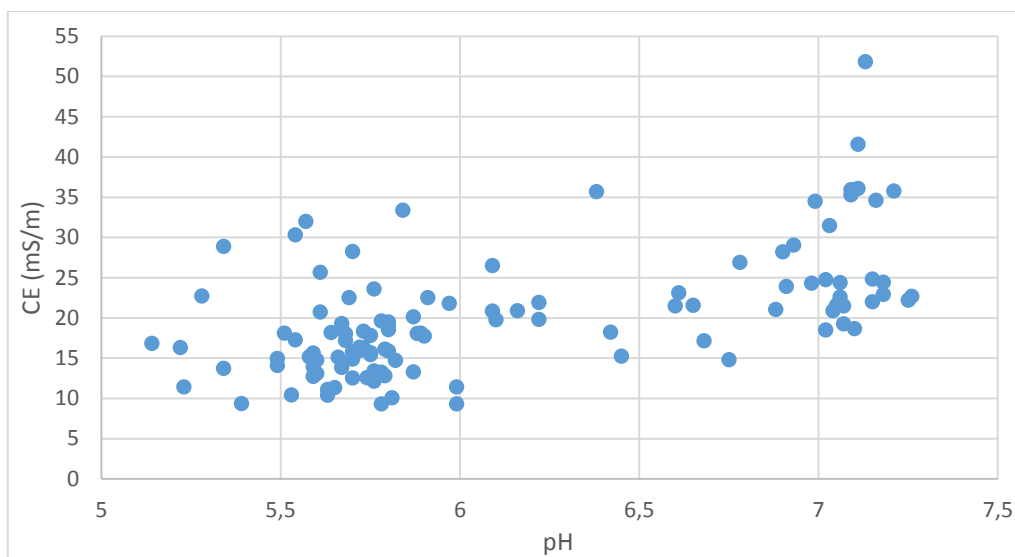


Figura 20 – Gráfico de dispersão de condutividade com o pH.

Selecionadas as 60 (Figura 21) amostras procedeu-se à análise laboratorial dos seguintes parâmetros: matéria orgânica (M.O.), potássio (K_2O) e fósforo (P_2O_5) extraíveis e as bases de troca (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+).

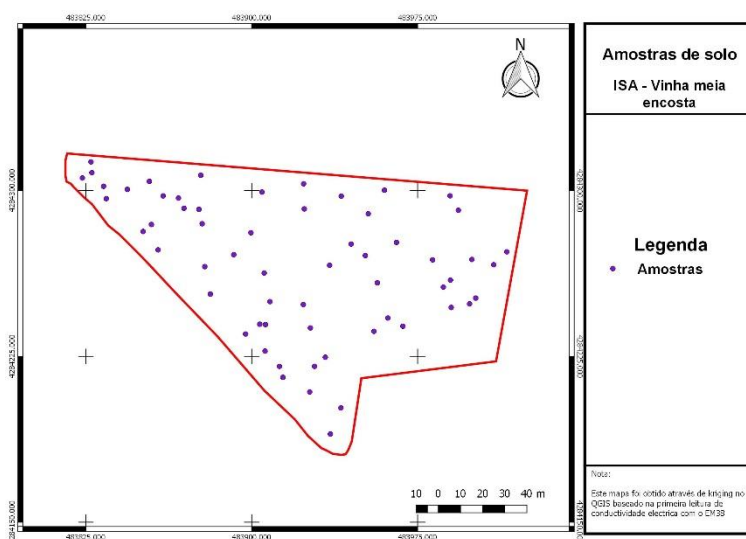


Figura 21 – Localização das 60 amostras de solo.

Para determinar a percentagem de matéria orgânica pesou-se, para cada amostra, cerca de 0,4 g de solo e utilizou-se o método de combustão a 1200°C para deteção de CO_2 por infravermelhos com o equipamento multi EA[®] 4000 - Analytik Jena AG, o valor de carbono é convertido em matéria orgânica, usando o factor 1,724, uma vez que se assume que, em média, a matéria orgânica do solo tem 58 % de carbono.

O fósforo e potássio extraíveis foram determinados pelo método de Egner-Rihem (Póvoas & Barral, 1992). Pesou-se 2 g de solo de cada amostra e preparou-se uma suspensão com 40

ml de extratante Egner-Rihem, seguido de agitação durante 120 minutos, seguiu-se uma centrifugação. No extrato assim obtido, quantificou-se o potássio por fotometria de emissão de chama num fotómetro de chama e o fósforo por Espectroscopia de Absorção Molecular (EAM) VIS/UV, num espectrofotómetro VIS/UV.

As bases de troca (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+) foram quantificadas após extração com uma solução de acetato de amónio 1 M na proporção solo:solução extrativa de 1:15 (m/v), após 15 minutos de agitação (Hendershot *et al.*, 1993). No extrato assim obtido, quantificou-se o Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+ por espectrofotometria de absorção atómica.

3.2.3. Medição da CEa

Para medir a condutividade elétrica aparente da parcela em campo, utilizou-se o equipamento EM38-MKII desenvolvido pela Geonics Limited, disponibilizado pela empresa especializada em agricultura de precisão Área 400. O levantamento foi exaustivo com medições em todas as linhas da vinha, primeiro nas linhas pares e de seguida nas linhas ímpares, deste modo rentabilizou-se o processo, demorando menos tempo nas manobras de cabeceira (Figura 22). O equipamento faz leituras de metro em metro e a um metro e meio de profundidade. Em conjunto com um sistema de GPS as medições foram todas a georreferenciadas.

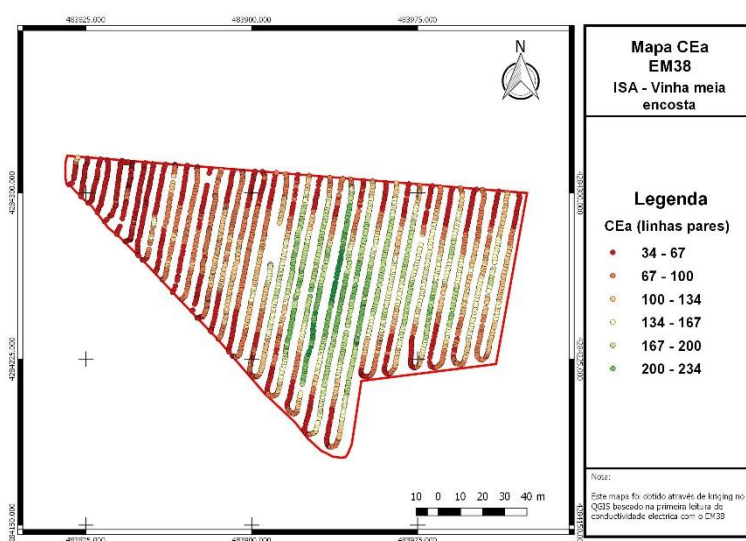


Figura 22 – Localização das 114 medições de CEa.

Este equipamento foi desenhado para uso manual mas, para possibilitar a sua utilização em grandes áreas, foi adaptado de modo a ser rebocado por uma pessoa ou unidade móvel por meio de um carrinho. Para não adulterar as medições o mesmo foi inteiramente construído em material não metálico à base de placas de isolamento e tubagem PVC (Figura 23).



Figura 23 – Medição georreferenciada da CEa com o EM38.

Fonte: Autor.

3.2.4. Cartografia das Variáveis em Estudo

Após o procedimento laboratorial e o processamento dos dados colhidos no campo estes foram cartografados de forma a interpretar o seu padrão de variabilidade espacial. Foi utilizada a krigagem dos dados com recurso ao programa VESPER (Whelan et al., 2002; ACPA, 2006).

3.2.5. Tratamento dos Dados

As variáveis em estudo foram sujeitas a tratamento estatístico através do *software* STATISTICA 12, as estatísticas sumárias (média, mínimo, máximo, mediana, 1º e 3º quartil, amplitude, variância, desvio-padrão e coeficiente de variação) dos dados referentes à amostragem. Procedeu-se também ao tratamento e análise de estatística de correlação.

3.2.6. Cartas de Prescrição

A partir dos resultados obtidos nas análises de laboratório executou-se duas propostas de adubação para a vinha, uma para a quantidade de potássio a aplicar e outra para a quantidade de fósforo.

Avaliou-se a aplicabilidade da adubação para uma aplicação diferenciada.

4. RESULTADOS E DISCUÇÃO

4.1. Dados de Campo

4.1.1. Estatística Descritiva das Variáveis em Estudo

Os dados das análises de solo e da condutividade elétrica aparente foram sujeitos a uma análise estatística descritiva (Quadro 3). Este é o primeiro passo para se perceber e avaliar a variabilidade espacial da parcela. Esta estatística é, por outras palavras, utilizada para compreender a magnitude da variabilidade da parcela e aferir se a mesma se adequa para o estudo em causa. Para tal, o parâmetro com maior influência para medir essa magnitude é o coeficiente de variação (CV). Este coeficiente exprime o desvio padrão de um conjunto de dados em função do seu valor médio.

Através da análise dos dados (quadro 4) segue-se as seguintes conclusões:

- Em geral todos os dados apresentam grande variabilidade em destaque para os níveis de fósforo (109%), as razões K/Mg (91%) e Ca/Mg (79%) e a segunda leitura de condutividade elétrica (84%)
- Com valores coeficiente de variabilidade entre os 45 e 65% encontra-se potássio extraível (62%), a condutividade em laboratório (55%) e da primeira leitura em campo (47%) e o potássio de troca (45%)
- Com ligeira menor variabilidade verificou-se a percentagem de matéria orgânica (39%) e as restantes bases de troca Mg (39%), Na (36%) e Ca (28%).
- Por último, com variabilidades consideradas reduzidas encontra-se as variáveis de pH e H₂O e KCl (6% e 11% respectivamente).

Além da magnitude da variabilidade verificada em apenas 1,6 ha, observa-se valores de máximos anormalmente elevados para o potássio (1400 mg/kg) e fósforo (1298 mg/kg) tal como valores mínimos, também bastante elevados de 100 mg/kg e 41,06 mg/kg respectivamente. Estes valores podem ser explicados pelo método de extração utilizado, o de Egner-Rihem.

Relativamente ao pH em água verifica-se que a reação de solo vai desde ácida (pH 6,27) a alcalina (pH 8,37).

A CEa medida em laboratório apresentou um valor médio de 22.86 mS/m, sendo bastante inferior do valor obtido através do sensor EM38 (110.97 mS/m). Este padrão repete-se para valores mínimos (9.33 mS/m e 30.27 mS/m respectivamente) e máximos (93.77 mS/m e 266.83 mS/m respectivamente). A diferença entre estes valores pode dever-se ao facto de a determinação laboratorial deste parâmetro ser referente a 10 cm de solo e a medição do

EM38 ser relativa a uma profundidade de 1,5 m para além que em laboratório a medição é feita em solução de solo diluída (1:2).

Quadro 3 – Estatística descritiva das variáveis analisadas em laboratório e das leituras de condutividade elétrica aparente.

| | <i>P2O5</i> (mg/Kg) | <i>K2O</i> (mg/Kg) | % M.O. | <i>pH</i> <i>H2O</i> | <i>pH</i> <i>KCl</i> | <i>Na</i> (cmol(+)/kg) | <i>K</i> (cmol(+)/kg) | <i>Ca</i> (cmol(+)/kg) | <i>Mg</i> (cmol(+)/kg) | <i>Ca/Mg</i> | <i>K/Mg</i> | <i>CE (mS/m)</i> | <i>CEa (mS/m)</i> <i>EM38</i> |
|---------------|------------------------|-----------------------|-----------|-------------------------|-------------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------|-------------|------------------|----------------------------------|
| Média | 397.49 | 359.70 | 3.28 | 7.48 | 6.19 | 0.33 | 0.81 | 37.21 | 6.47 | 7.90 | 0.18 | 22.86 | 110.97 |
| Erro-padrão | 55.77 | 28.86 | 0.17 | 0.06 | 0.09 | 0.02 | 0.05 | 1.34 | 0.32 | 0.81 | 0.02 | 1.63 | 0.95 |
| 1º Quartil | 81.57 | 202.50 | 2.41 | 7.14 | 5.65 | 0.23 | 0.54 | 29.54 | 3.93 | 3.42 | 0.07 | 15.81 | 64.49 |
| Mediana | 132.40 | 293.00 | 2.93 | 7.36 | 5.88 | 0.33 | 0.74 | 32.43 | 6.81 | 4.74 | 0.10 | 20.43 | 98.61 |
| 3º Quartil | 889.38 | 460.00 | 4.30 | 7.96 | 7.00 | 0.43 | 1.00 | 48.30 | 8.39 | 12.09 | 0.25 | 25.05 | 148.80 |
| Desvio-padrão | 431.98 | 223.52 | 1.29 | 0.47 | 0.68 | 0.12 | 0.36 | 10.37 | 2.51 | 6.26 | 0.16 | 12.63 | 51.79 |
| Mínimo | 41.06 | 100.00 | 1.40 | 6.27 | 5.14 | 0.12 | 0.25 | 24.42 | 1.79 | 2.51 | 0.03 | 9.33 | 30.27 |
| Máximo | 1298.00 | 1400.00 | 7.05 | 8.37 | 7.26 | 0.59 | 1.90 | 57.33 | 10.53 | 30.95 | 0.66 | 93.77 | 266.83 |
| Variância | 186605.06 | 49959.64 | 1.67 | 0.22 | 0.47 | 0.01 | 0.13 | 107.50 | 6.28 | 39.16 | 0.03 | 159.46 | 2682.02 |
| Curtose | -1.10 | 6.88 | 0.29 | -0.60 | -1.48 | -0.96 | 0.37 | -1.26 | -1.24 | 1.87 | 1.33 | 16.38 | -0.67 |
| Assimetria | 0.84 | 2.09 | 1.00 | 0.29 | 0.35 | 0.08 | 0.83 | 0.60 | -0.21 | 1.46 | 1.47 | 3.33 | 0.64 |
| CV | 109% | 62% | 39% | 6% | 11% | 36% | 45% | 28% | 39% | 79% | 91% | 55% | 47% |
| Contagem | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 2960 |

4.1.2. Cartas de Interpolação dos Parâmetros em Análise

De forma a melhor entender a variabilidade, dentro da parcela em estudo, elaboraram-se cartas através da interpolação espacial de variáveis utilizando o modelo de interpolação de kriging. Estas cartas permitem-nos dividir por classes a mesma variável em diferentes zonas da parcela, de forma a criar uma visualização mais simples de analisar e desta forma encontrar, ou não, padrões ou tendências de uma variável na parcela e compará-la a outras.

Através da observação da Figura 24 vemos a distribuição de fósforo extraível demonstrando um claro padrão com um aumento gradual da sua concentração de este para oeste. Com o mesmo padrão vemos a distribuição de potássio extraível (figura 25).

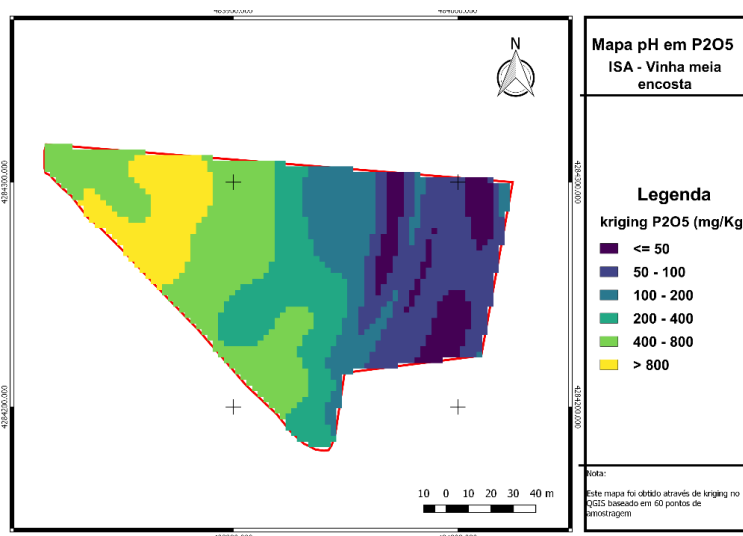


Figura 24 – Carta de P₂O₅.

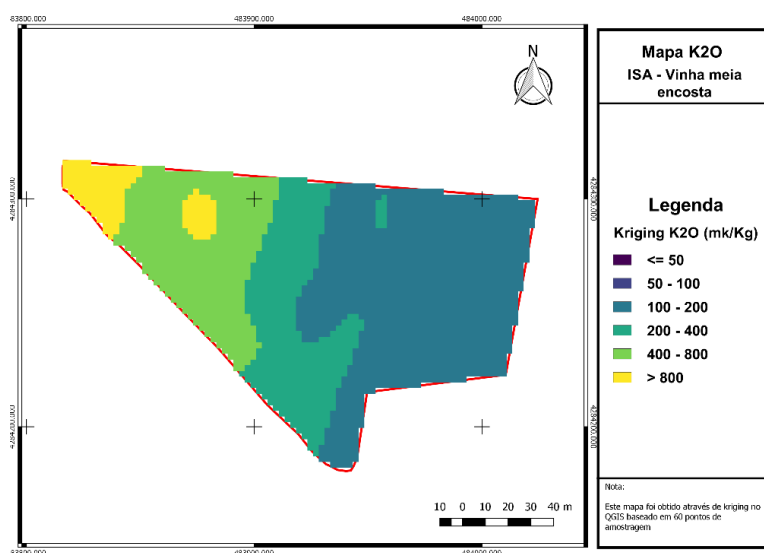


Figura 25 – Carta de K₂O.

Ao observar a carta de percentagem matéria orgânica (Figura 26) vemos também que se mantêm o padrão, chegando a valores bastantes elevados, para as nossas condições, de 5%.

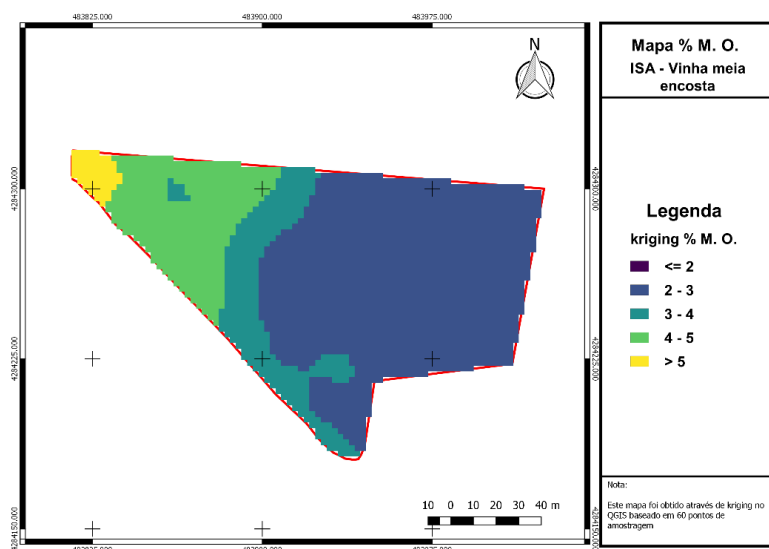


Figura 26 – Carta de Matéria Orgânica (M.O.).

A carta de condutividade elétrica (figura 27), medida em laboratório, apresenta um padrão de distribuição mais uniforme com grande parte da parcela apresentar valores entre os 20 e 40 mS/m, no entanto verifica-se maiores valores de condutividade na zona oeste da vinha. No extrato de 1:2 (solo:água) considera-se que esta parcela não sofre de problemas de salinidade considerando solos salinos os que apresentam condutividades superiores a 160 mS/m.

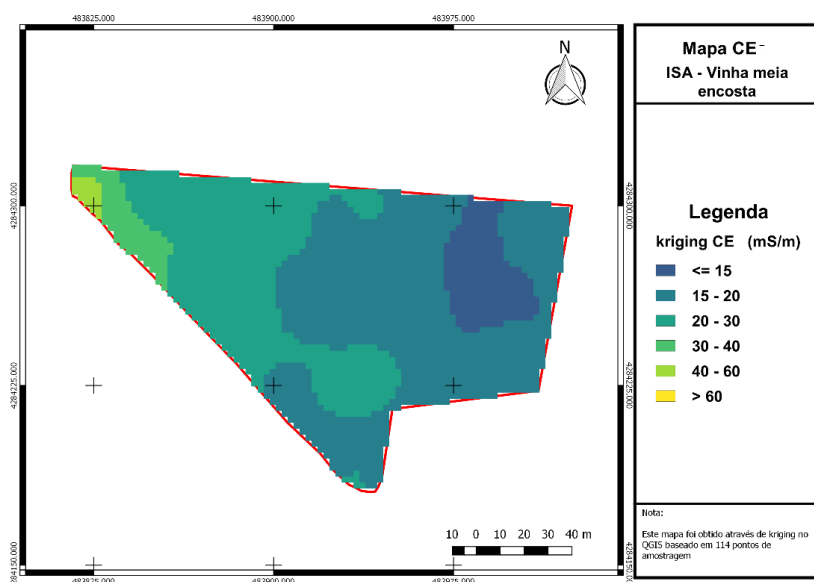


Figura 27 - Carta de condutividade elétrica medida em laboratório.

De seguida é possível analisar as cartas de pH em H₂O e KCl (figura 28 e 29 respetivamente), ambas com padrões semelhantes, a segunda com uma gama de valores naturalmente mais baixa devido à influência da medição da acidez de troca e potencial. De verificar o aumento de pH de Este para Oeste.

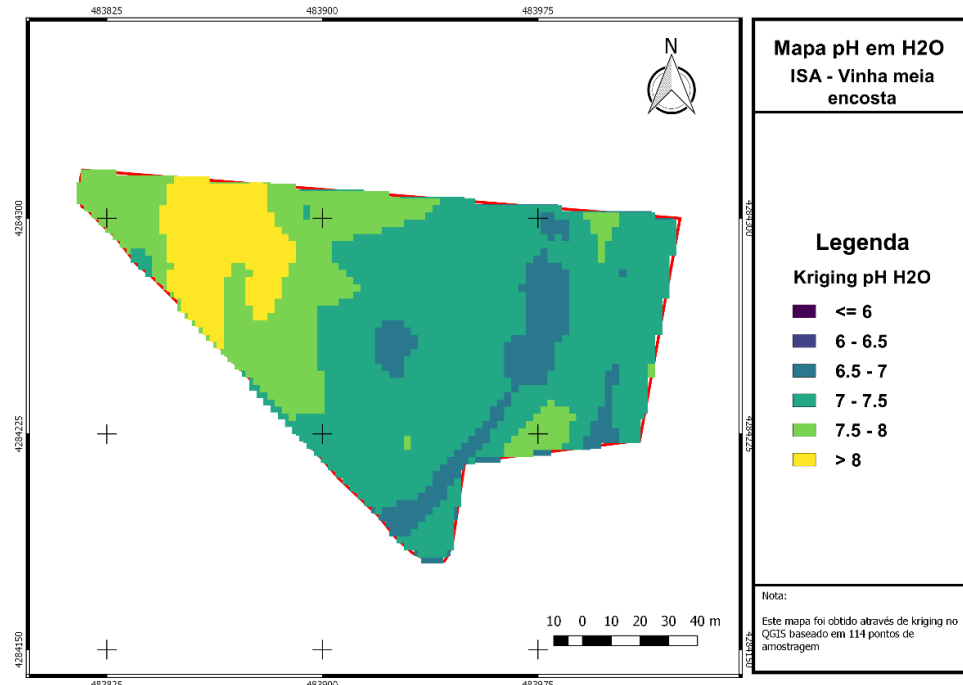


Figura 28 – Carta de pH em H₂O.

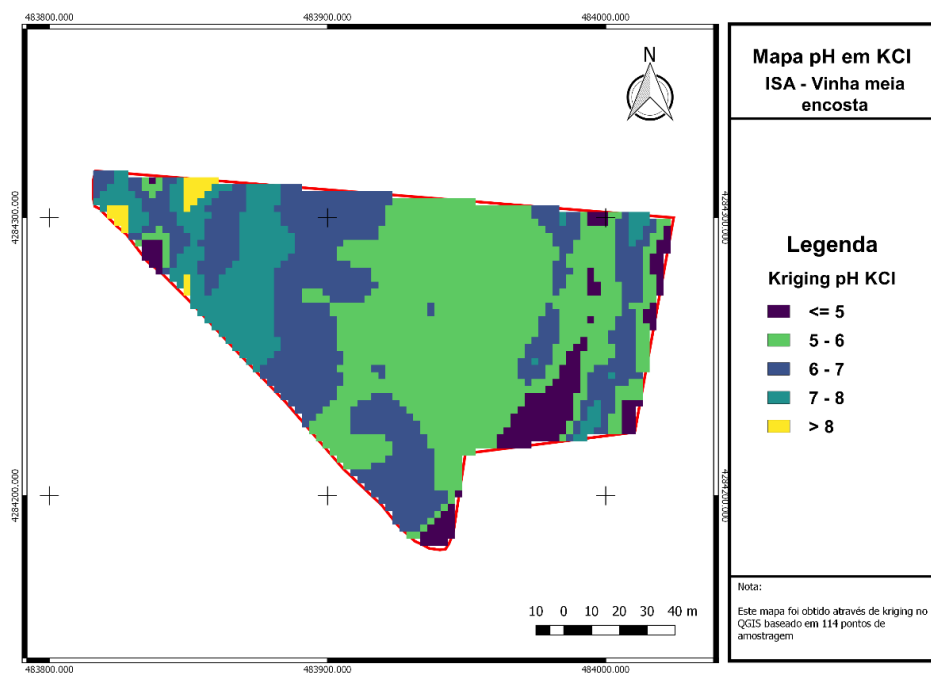


Figura 29 – Carta de pH em KCl.

As quatro cartas seguintes representam as bases troca da parcela, sódio (Figura 30), magnésio (Figura 31), cálcio (Figura 32) e potássio (Figura 33). As primeiras duas apresentam a particularidade de serem as únicas de apresentarem um gradiente inverso de todas as restantes, ou seja, a concentração de sódio e magnésio aumenta no sentido Oeste para Este.

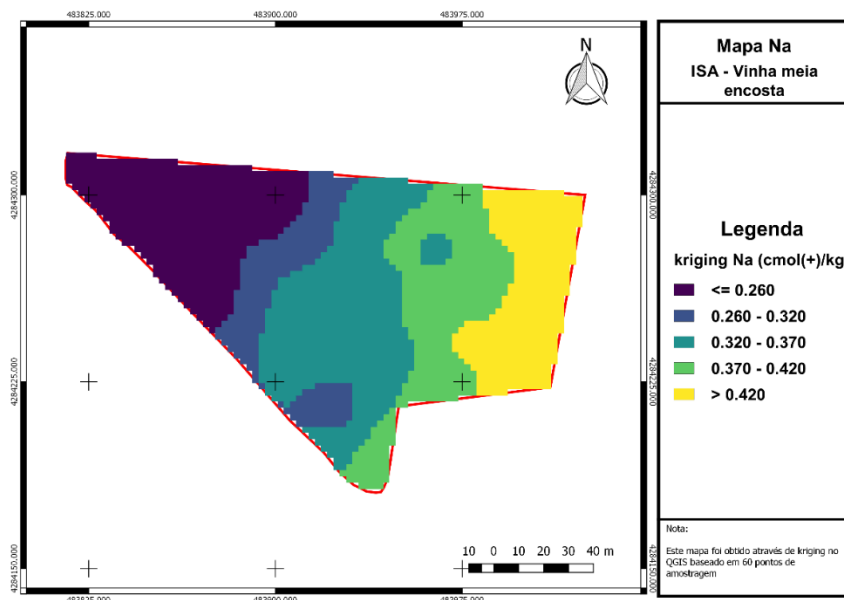


Figura 30 – Carta de Sódio (Na⁺).

Verifica-se que a parcela apresenta grandes concentrações de magnésio. Solos com valores superiores a 8 cmol(+)/kg são considerados de fertilidade muito alta (International Land Development Consultants Ltd. *et al.*, 1981).

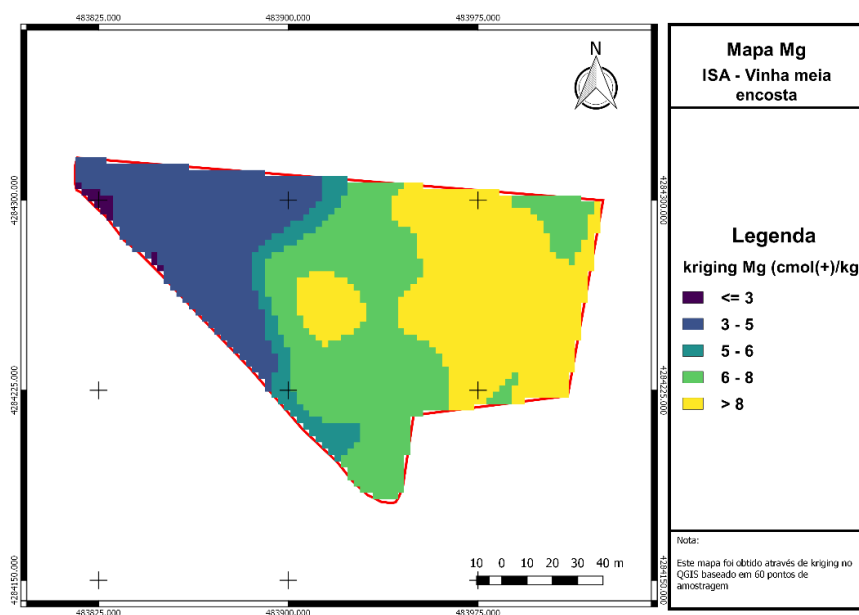


Figura 31 – Carta de magnésio (Mg²⁺).

Na Figura 32 apresenta-se a distribuição de cálcio na parcela com um padrão à semelhança das acima apresentadas, verifica-se também elevados níveis tendo em conta que para um solo neutro são considerados adequados valores a rondar os 5 a 10 cmol(+)/kg. Estes valores elevados pode resultar em desequilíbrios nutritivos, promovendo dificuldades na absorção de outros nutrientes. A figura 33 representa a concentração de potássio de troca.

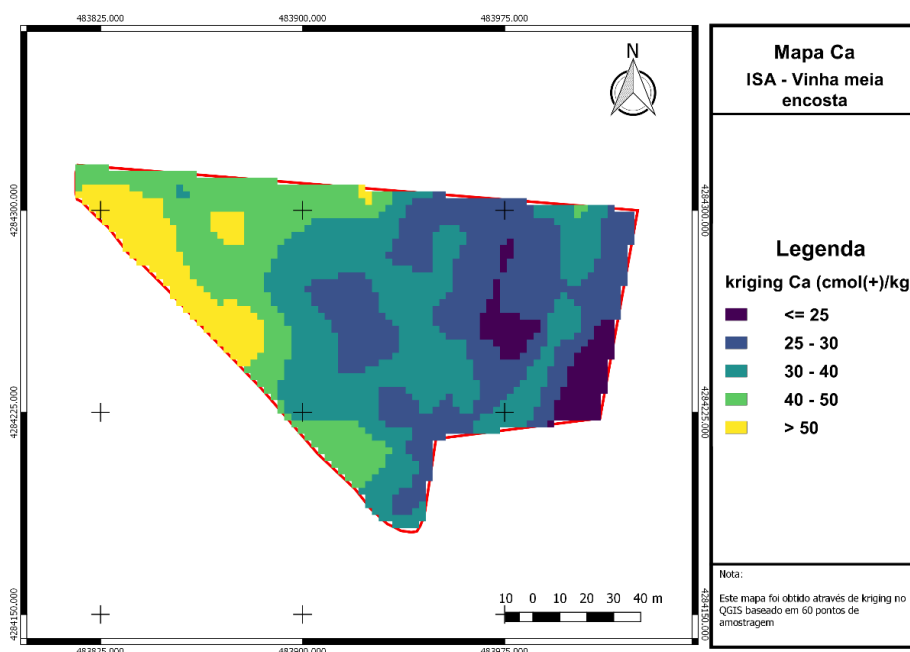


Figura 32 – Carta de cálcio (Ca^{2+}).

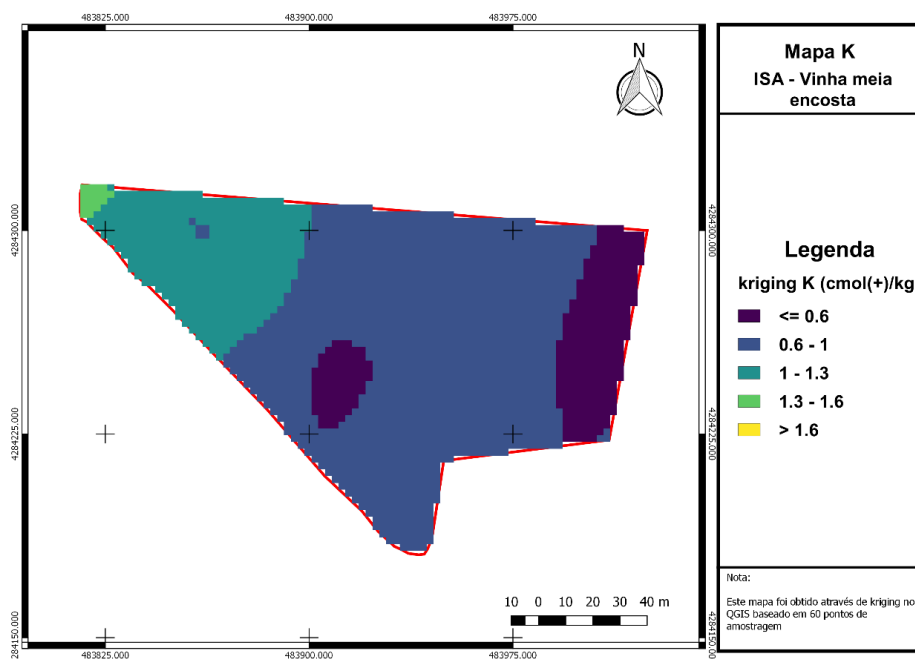


Figura 33 – Carta de potássio (K^+).

As cartas abaixo referem-se às razões de cálcio com magnésio (Ca/Mg) (Figura 34) e de potássio com magnésio (K/Mg) (Figura 35). Na primeira verifica-se que grande da área apresenta uma relação superior a 8, ou seja desfavorável para nutrição da planta em magnésio (LQARS, 2006).

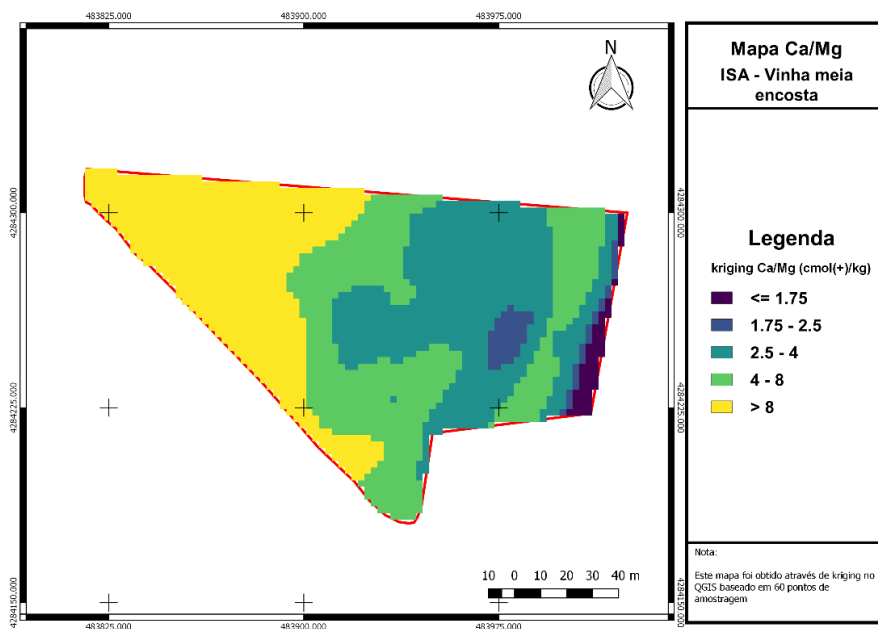


Figura 34 – Carta da razão Ca/Mg.

Na Figura 35 observa-se uma grande variabilidade da razão K/Mg, com valores relativamente baixos. Segundo Loide (2004), para solos argilosos, a relação K:Mg ideal para a maior parte das culturas é de 1:2, correspondendo a uma razão K/Mg de 0,5. Assim, na zona Este da parcela a relação é demasiado baixa, com um predomínio do Mg, o que indicia um possível antagonismo iónico entre os dois elementos e a consequente dificuldade para a absorção de potássio por parte da vinha.

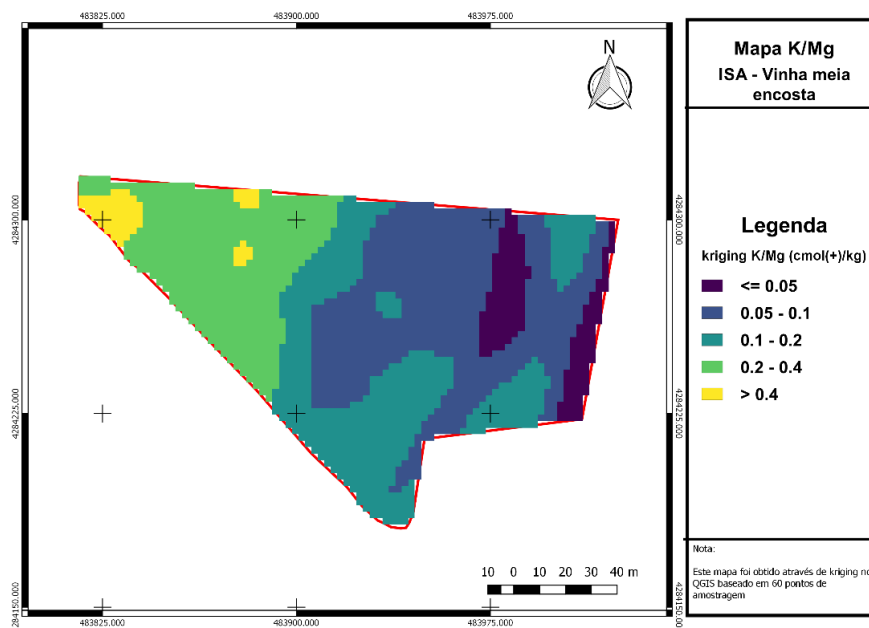


Figura 35 – Carta da razão K/Mg.

Por último a carta seguinte (Figura 36) representa a leitura da condutividade elétrica aparente medida no campo com o aparelho EM38-MKII.

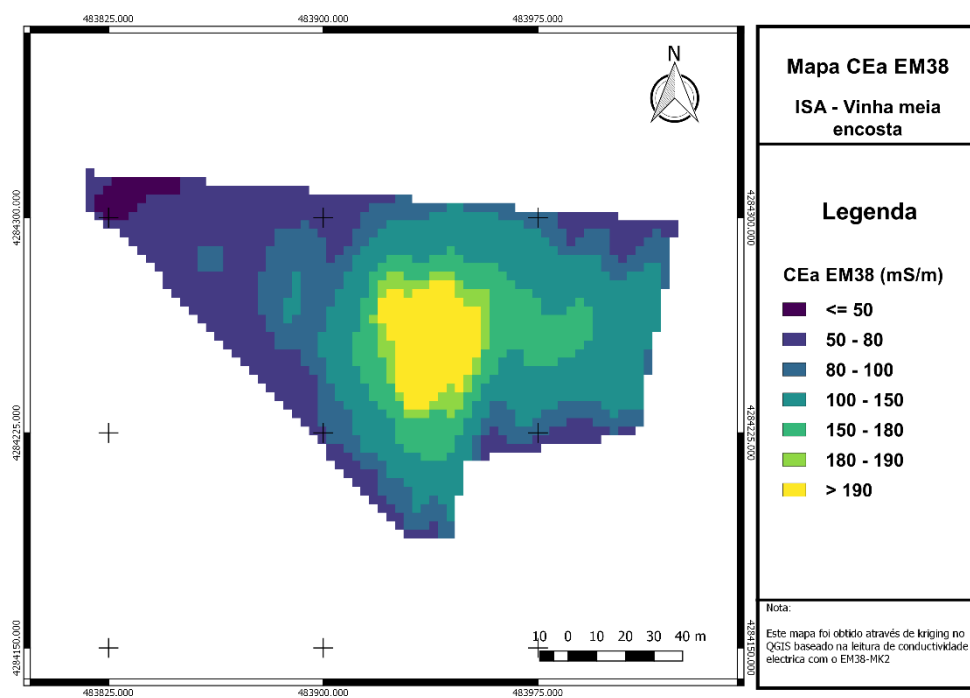


Figura 36 – Carta de condutividade elétrica aparente.

4.2. Correlação Estatística

4.2.1. Análise de Correlação Entre as Variáveis Químicas em Estudo e a CEa

A análise de correlação permitiu determinar o grau de inter-relação entre variáveis (Quadro 4). Ou seja, vai indicar a possível linearidade entre as mesmas, sendo que esta pode ser positiva ou negativa variando entre -1 e 1. O quadro 5 demonstra os valores de cada correlação.

Observando os valores de R obtidos para as correlações podemos fazer uma análise de quais as variáveis melhor se correlacionam com a variável em estudo.

Analizando as correlações mais significativas entre a condutividade e os dados de campo, observou-se que:

- A variável que mais se relaciona com a condutividade elétrica aparente é o fósforo extraível (K_2O) tendo-se registado valores de 0,40;
- Logo de seguida, com elevada relação denota-se o pH em H_2O e cálcio (Ca) com 39% e pH em KCl com 0,37;
- As razões K/Mg e Ca/Mg apresenta correlação semelhante de 0,36 e 0,35;
- As variáveis sódio (Na) de troca e magnésio (Mg) de troca são as únicas que apresentam correlações negativas de -0,32 e -0,34 significando que quando estas variáveis aumentem a condutividade diminui;
- A matéria orgânica (% M.O.) e fósforo extraível (P_2O_5) apresentaram valores de 0,34 e 0,32;
- Com menores relações estatísticas observa-se a condutividade elétrica medida em laboratório (CEa) com e o potássio de troca (K) ambas com 0,26.

Analizando as restantes correlações entre todos dados de campo, observou-se que existe apenas uma correlação para $p < 0,05$ não estatisticamente significativa entre a condutividade elétrica medida em laboratório (CEa) e o fósforo extraível (P_2O_5) com $r = 0.18$.

Observando em específico a correlação da condutividade elétrica aparente com as restantes variáveis em estudo (Figuras 37, 38 e 39) verifica-se que, apesar de ser estatisticamente significativa, existe baixa relação.

Quadro 4 – Análise de correlação das variáveis para as 60 amostras de campo.

| | P2O5 (mg/Kg) | K2O (mg/Kg) | % M.O. | pH H2O | pH KCl | Na (cmol(+)/kg) | K (cmol(+)/kg) | Ca (cmol(+)/kg) | Mg (cmol(+)/kg) | Ca/Mg | K/Mg | CE (mS/m) | CEa EM38 |
|-----------------|-----------------|----------------|-----------|--------|--------|--------------------|-------------------|--------------------|--------------------|-------|------|--------------|----------|
| P2O5 (mg/Kg) | 1.00 | | | | | | | | | | | | |
| K2O (mg/Kg) | 0.43 | 1.00 | | | | | | | | | | | |
| % M.O. | 0.41 | 0.63 | 1.00 | | | | | | | | | | |
| pH H2O | 0.57 | 0.55 | 0.66 | 1.00 | | | | | | | | | |
| pH KCl | 0.69 | 0.62 | 0.75 | 0.87 | 1.00 | | | | | | | | |
| Na(cmol(+)/kg) | -0.61 | -0.44 | -0.63 | -0.64 | -0.73 | 1.00 | | | | | | | |
| K (cmol(+)/kg) | 0.48 | 0.65 | 0.79 | 0.60 | 0.70 | -0.66 | 1.00 | | | | | | |
| Ca (cmol(+)/kg) | 0.66 | 0.49 | 0.66 | 0.76 | 0.84 | -0.67 | 0.60 | 1.00 | | | | | |
| Mg (cmol(+)/kg) | -0.61 | -0.63 | -0.77 | -0.74 | -0.89 | 0.73 | -0.67 | -0.87 | 1.00 | | | | |
| Ca/Mg | 0.61 | 0.53 | 0.80 | 0.69 | 0.84 | -0.70 | 0.66 | 0.89 | -0.90 | 1.00 | | | |
| K/Mg | 0.57 | 0.64 | 0.89 | 0.68 | 0.82 | -0.72 | 0.89 | 0.77 | -0.84 | 0.90 | 1.00 | | |
| CE (mS/m) | 0.18 | 0.34 | 0.56 | 0.30 | 0.50 | -0.43 | 0.43 | 0.48 | -0.49 | 0.53 | 0.51 | 1.00 | |
| CEa EM38 | 0.32 | 0.40 | 0.34 | 0.39 | 0.37 | -0.32 | 0.26 | 0.39 | -0.34 | 0.35 | 0.36 | 0.26 | 1.00 |

Nota: A vermelho estão os valores significativamente relacionados (p <0,05):

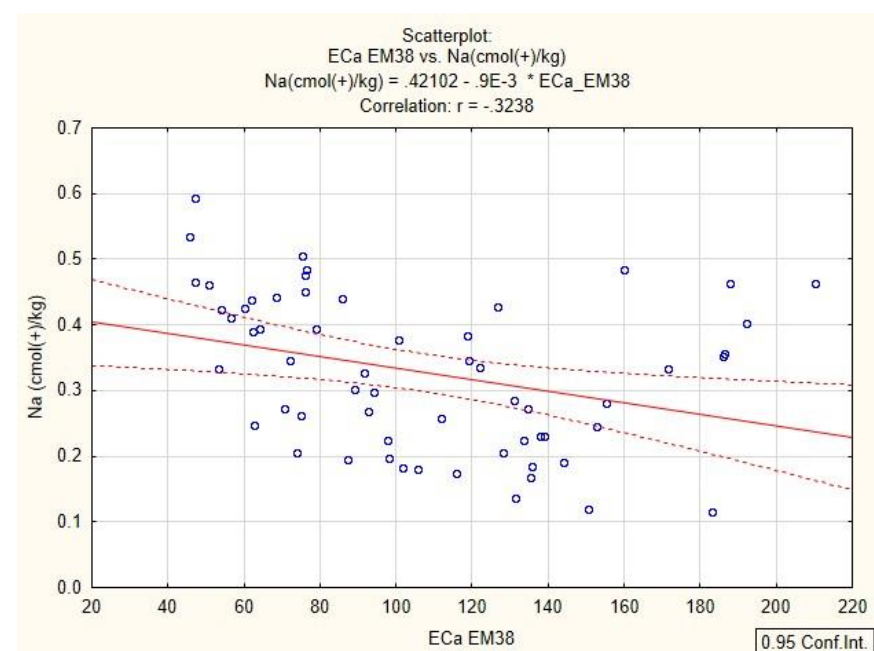
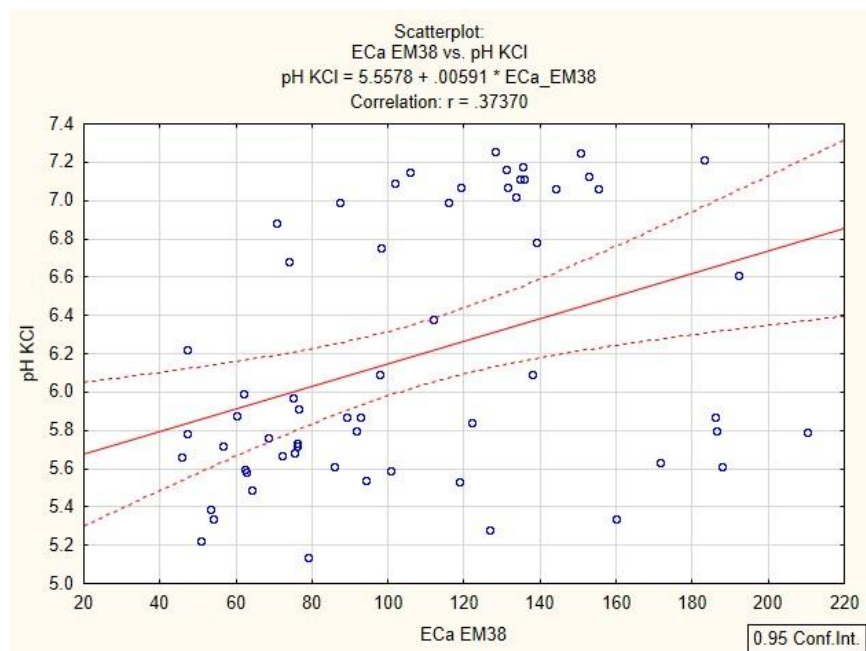
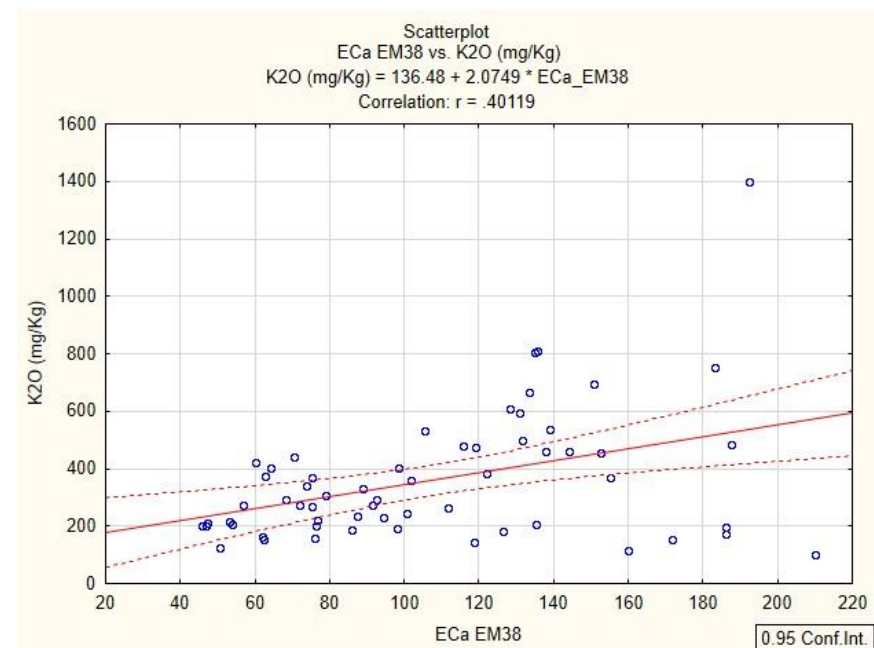
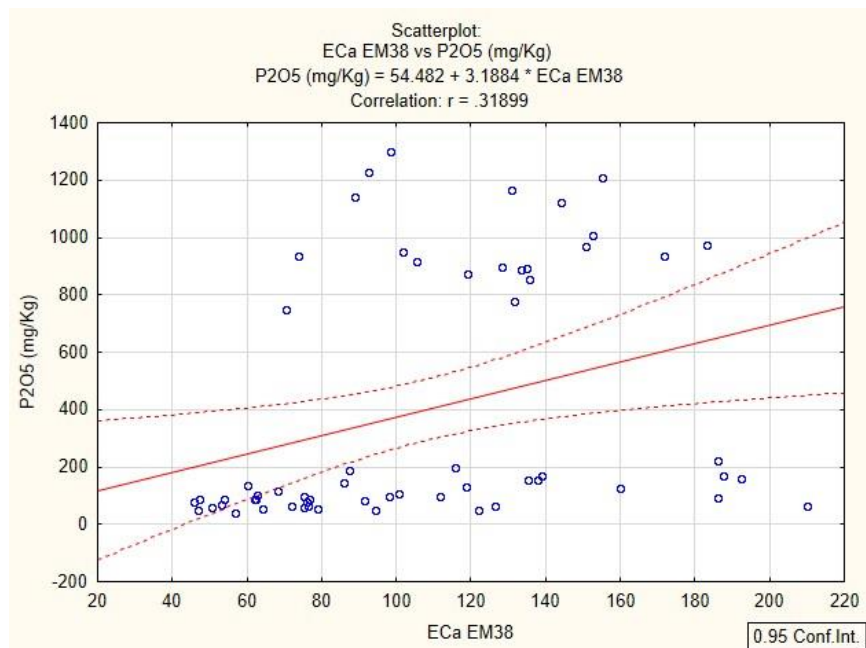


Figura 37 – Correlação da condutividade elétrica aparente (CEa) com fósforo extraível (P_2O_5); Potássio extraível (K_2O) extraível; pH em KCl; e Sódio (Na^+).

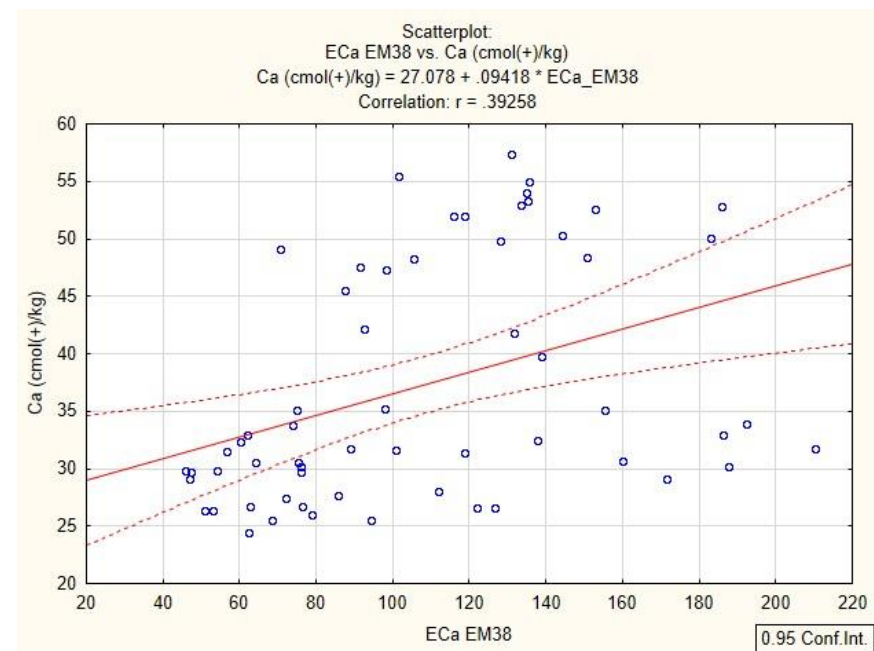
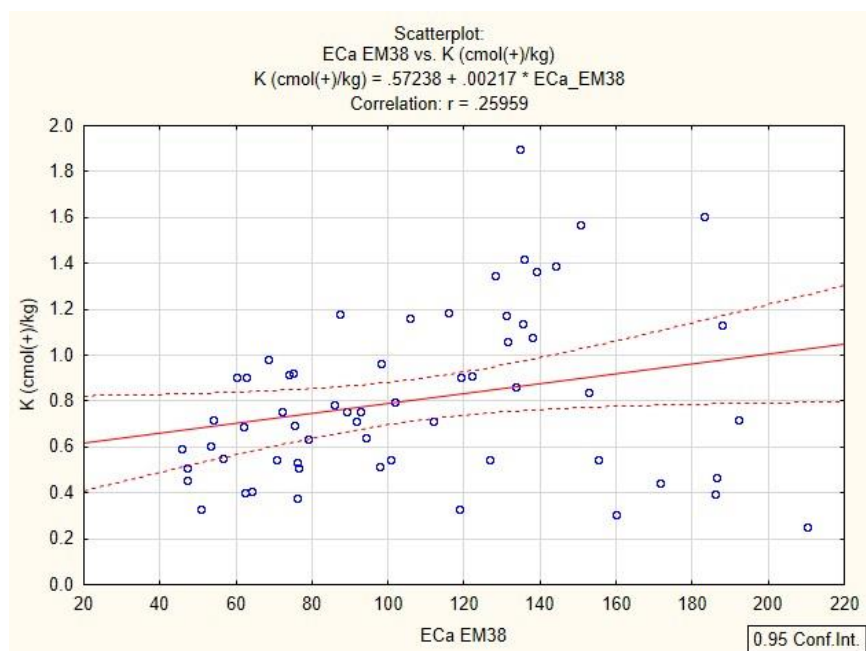
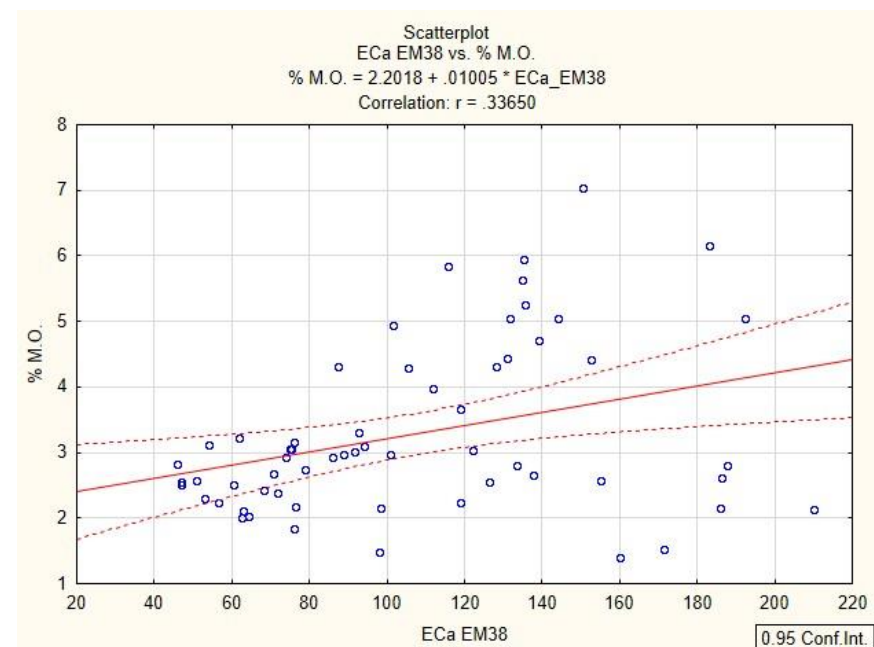
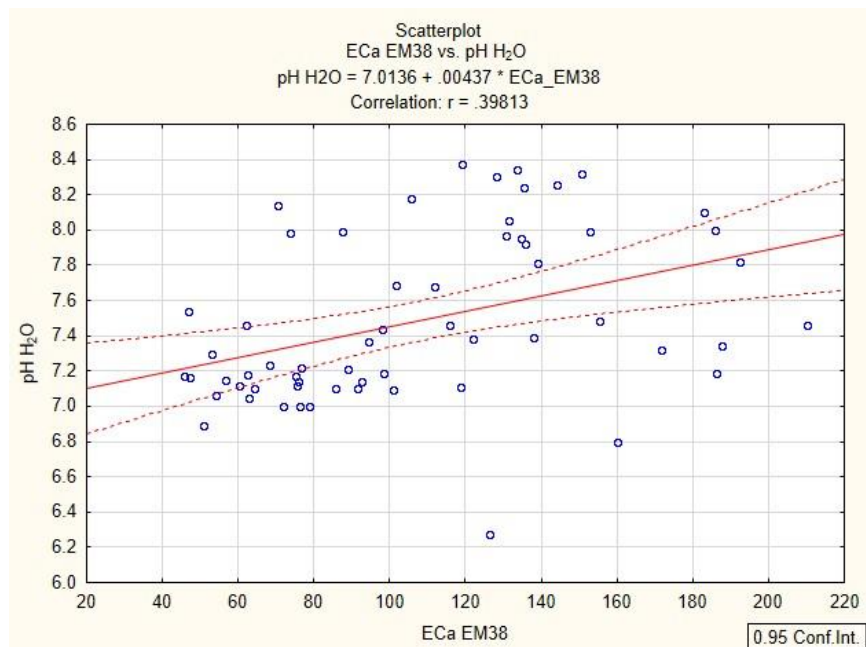


Figura 38 – Correlação da condutividade elétrica aparente (CEa) com pH em água (H₂O); matéria orgânica; potássio (K⁺); e cálcio (Ca²⁺).

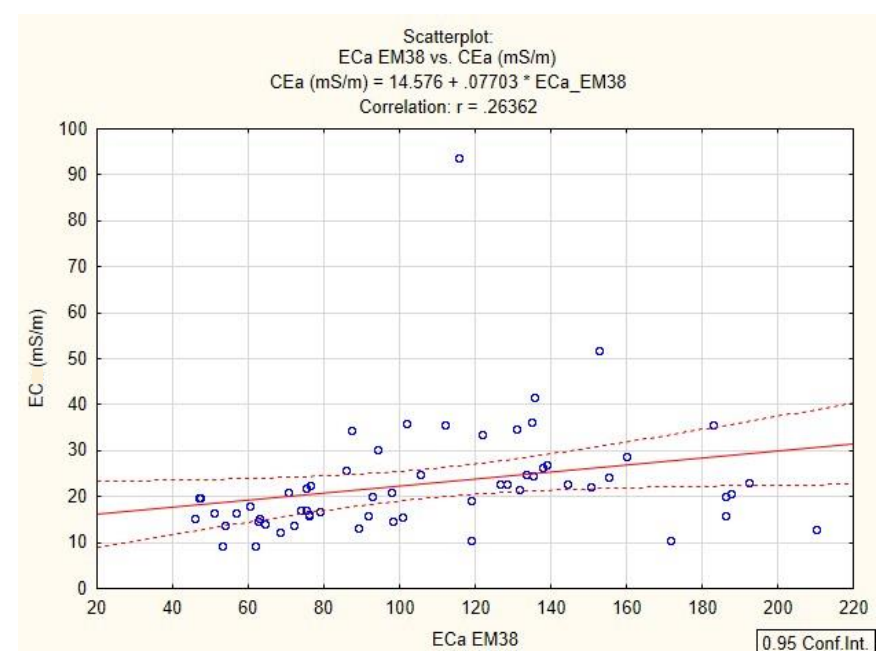
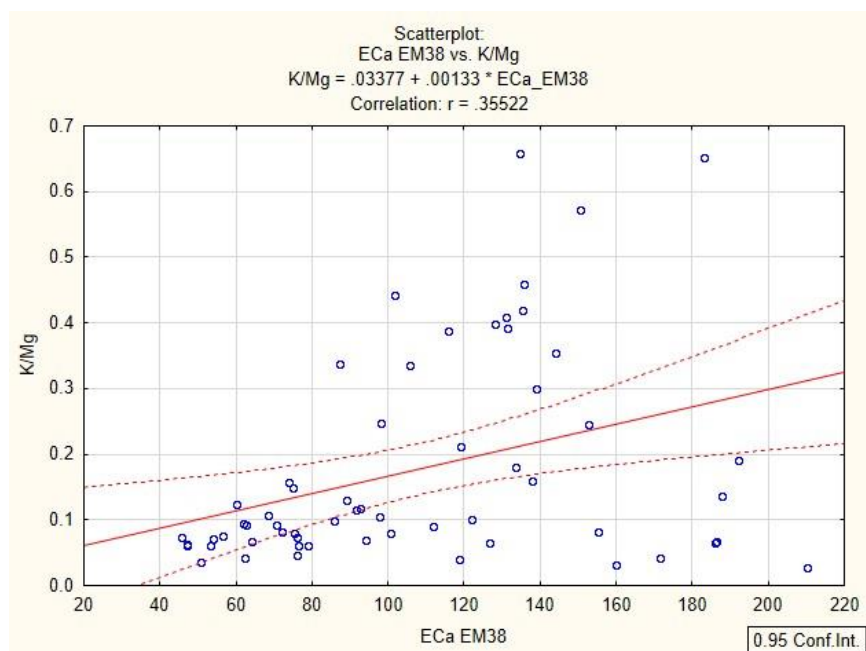
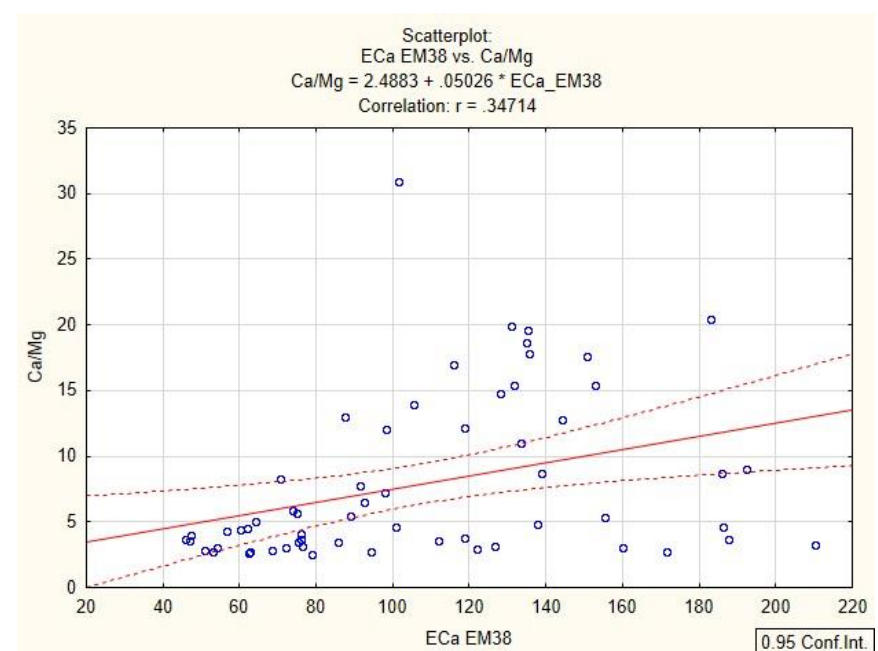
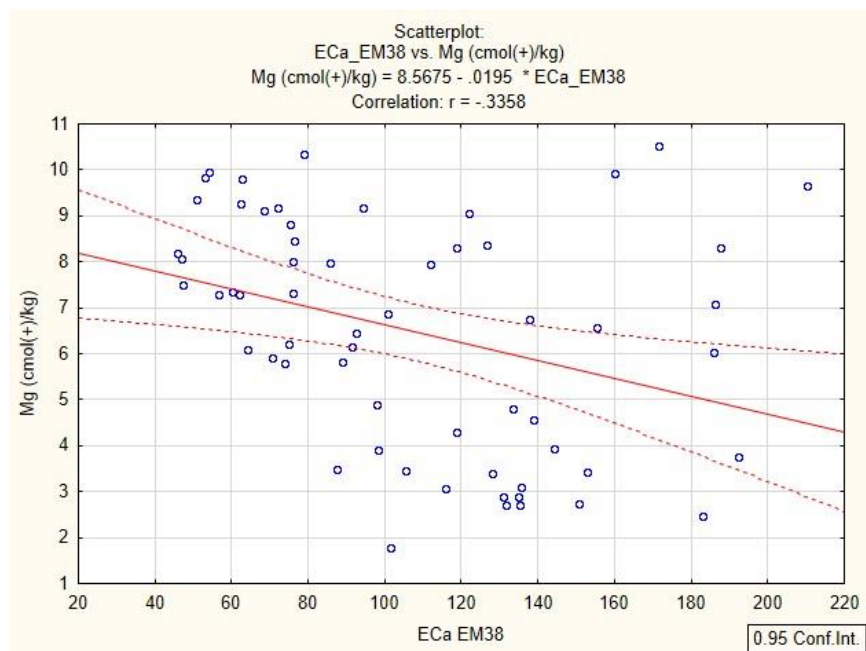


Figura 39 – Correlação da condutividade elétrica aparente (CEa) com magnésio (Mg^{2+}); razão Ca/Mg; razão K/Mg; e condutividade elétrica medida em laboratório CE.

4.3. Cartas de Prescrição

As análises de solo georreferenciadas possibilitam-nos dividir por classes as variáveis em estudo permitindo criar, a partir de cartas de interpolação, uma forma mais simples de visualizar e detectar uma eventual tendência da concentração no solo das mesmas variáveis.

Através das cartas de Interpolação conseguiu-se criar cartas de prescrição, ou seja, cartas de recomendação de adubação para os macronutrientes. Para que seja possível criar as referidas cartas de prescrição foi necessário saber as necessidades de adubação da vinha, para tal utilizou-se uma análise ao pecíolo no pintor (Quadro 5).

Quadro 5 – Valores de análise foliar de fósforo e potássio.

| Valor médio ao pintor | |
|------------------------------|-------|
| P (g/kg) | 2,32 |
| K (g/kg) | 12,09 |

Considerando os valores adequados de fósforo e (P) e potássio (K) em pecíolos de 1,0 a 1,8 g/kg e de 15 a 25 g/kg respectivamente (Delas, 2000), verifica-se que não existe necessidade de aplicação de fósforo. No entanto, constata-se que os valores de K encontram-se abaixo do recomendado, apesar da grande quantidade de potássio no solo (Figura 22), sendo para mais o potássio um elemento de grande interesse para a qualidade das uvas e do vinho, exercendo a sua influência, sobretudo, no aumento da fotossíntese (Santos, 2012)

Estes baixos valores medidos ao pecíolo são, muito provavelmente explicados pela baixa razão existente entre potássio e magnésio (K/Mg) que vai dificultar a absorção de potássio pela planta. Pelo exposto, a fertilização deveria ser aplicada em função da variação da razão K/Mg (Figura 35).

4.3.1. Carta de Prescrição de Potássio

Para uma produtividade de 10 a 15 toneladas deve ser aplicada uma quantidade de 60kg/ha LQARS (2006) de K_2O a carta de prescrição foi executada com base nos seguintes critérios (Figura 40):

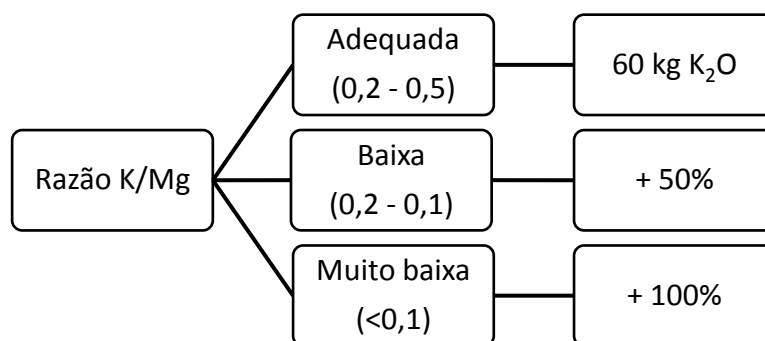


Figura 40 – Adubação em função da razão K/Mg.

Na Figura 41 mostra-se a carta elaborada de acordo com os supracitados critérios, observa-se que, apesar de existir no solo um elevado teor de potássio extraível, será necessário, para satisfazer as necessidades culturais da vinha, aplicar até o dobro da quantidade de K_2O recomendada.

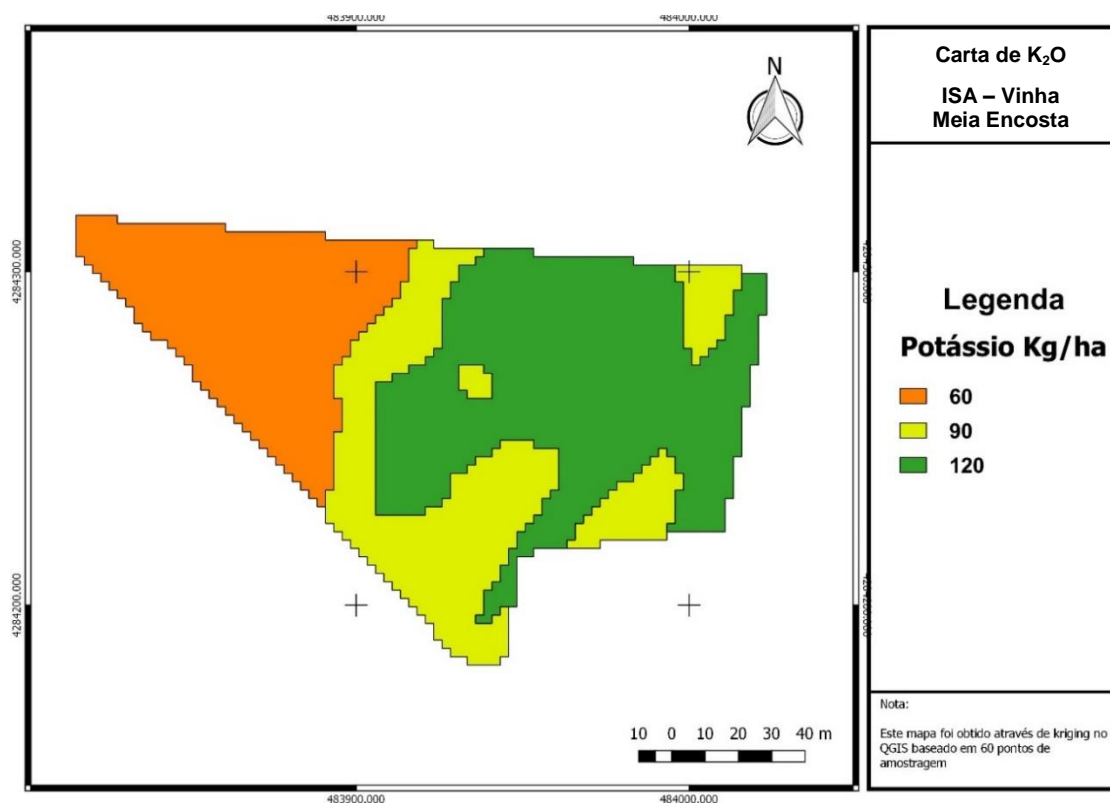


Figura 41 – Carta de prescrição de potássio.

4.3.2. Carta de Prescrição de Fósforo

Dos valores médios ao pecíolo verificou-se que não existe carência de fósforo, no entanto verificou-se a necessidade de executar uma fertilização de manutenção do na parcela. Segundo LQARS (2006) para uma produtividade esperada de 10 ton/ha deve-se aplicar 20 kg/ha de P_2O_5 , no entanto, segundo Legaz & Primo (1998) tendo em conta os valores de calcário existentes no solo, esse valor deve ser corrigido (figura 42).

| Teor de fósforo extraível do solo | Teor foliar de fósforo | % de calcário total do solo >20 (Multiplicar pela quantidade recomendada) |
|-----------------------------------|------------------------|--|
| Baixo | Insuficiente | 2,0 |
| 25 - 50 | Suficiente | 1,8 |
| Médio | Suficiente | 1,2 |
| 50 - 100 | Elevado | Não aplicar |
| Alto | Suficiente | 0,6 |
| 100 - 200 | Elevado | Não aplicar |
| Muito alto | Suficiente | 0,4 |
| >200 | Elevado | Não aplicar |

Figura 42 – Correção da recomendação de fertilização.

Adaptado de Legaz & Primo (1988).

Observando os critérios definidos na Figura 40, sabendo que a vinha apresenta um teor foliar de P_2O_5 elevado e o teor de fósforo no solo varia de baixo a muito alto, nesta situação, e ao contrário do verificado para o potássio, não faz sentido uma fertilização diferenciada uma vez que dos 1,6 ha da parcela só seria necessário a aplicação de fósforo em 107 m² (Figura 43).



Figura 43 – Carta de prescrição de fósforo.

5. CONCLUSÕES

O principal objetivo da dissertação era, avaliar a variabilidade espacial existente na vinha dos Brancos, Instituto Superior de Agronomia com recurso a uma recolha exaustiva amostras de solo para análise laboratorial e correlacionar essa mesma variabilidade, com a condutividade elétrica aparente do solo. Pode-se concluir, quer a partir das análises laboratoriais quer pela condutividade elétrica aparente, que existe uma grande variabilidade espacial das variáveis em estudo, com destaque para a magnitude verificada no fósforo e potássio extraível.

Desenvolvido o estudo foi possível responder ao segundo objetivo, conclui-se que existe correlação estatisticamente significativa, embora não suficientemente forte para relacionar a condutividade aparente do solo às características químicas do mesmo. No entanto poderá ter bastante interesse, de futuro, explicar a variabilidade das propriedades físicas do solo, segundo Moral *et al.*, (2010) a condutividade elétrica aparente do solo tornou-se umas das ferramentas mais utilizadas para a avaliar.

Em termos práticos para o agricultor, a CEa pode servir como guia para uma recolha inteligente, e mais eficiente, de amostras de solo, colocação de sondas ou suporte na definição de estratégias de rega diferenciada por sectores, toda a variabilidade existente é a razão para a crescente necessidade em adotar uma perspetiva de gestão e a aplicação diferenciada quanto ao local. (Corwin & Lesch, 2003).

Ao construir as cartas de prescrição para o potássio e fósforo verificou-se dois cenários totalmente opostos. Para o potássio observou-se uma necessidade de fertilização diferenciada, abrindo uma janela de oportunidade evidente para aplicar tecnologias de agricultura de precisão como o VRT. O fósforo, por outro lado, apresenta uma carta homogénea, um exemplo de que nem sempre existe variabilidade.

De futuro seria interessante estudar a variabilidade temporal das variáveis em estudo, relacionar a condutividade elétrica aparente com as propriedades físicas do solo e fazer uma proposta de adubação VRT.

6. BIBLIOGRAFIA

Atkinson, P. M. (2002). Spatial Statistics for Remote Sensing. *Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands*, 57–81.

Bhatti, A.U., Mulla, D. J., & Frazier, B. E. (1991). Estimation of Soil Properties and Wheat Yields on Complex Eroded Hills Using Geostatistics and Thematic Mapper Images: Remote Sensing of Environment, v. 37, 181–191.

Braga, R., Pinto, P. A. (2011). Agricultura de Precisão, adopção e principais obstáculos. *Agrotec*, 84–89.

Braga, R. (2009). Viticultura de Precisão. *Associação de Jovens Agricultores de Portugal*.

Bullock, D.S., & J. L.-D. (2007). Using Spatial Analysis to Study the Values of Variable Rate Technology and Information Journal of Agricultural Economics, 53:517–35.

Cambouris, A. N., Zebarth, B. J., Ziadi, N., & Perron, I. (2014). Precision Agriculture in Potato Production. *Potato Research*, 57(3–4), 249–262.

Carter, L. M., Rhoades, J. D., & Carter, L. M. (1993). An ASAE Meeting Presentation Mechanization Of Soil Salinity Assessment For Mapping, (931557).

Childs, C. (2011). Interpolating Surfaces in ArcGIS Spatial Analyst. *Education*, 4.

Coelho, J. C., Silva, L. M., Tristany, M., Neto, M., e Pinto, P. A. (2003). Agricultura de precisão (p. 238).

Coelho, J. C. & Silva, J. M. (2009). *1ª Edição Agricultura de Precisão , Associação de Jovens Agricultores de Portugal, Lisboa*.

Corwin, D. L., & Lesch, S. M. (2005). Apparent soil electrical conductivity measurements in agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 46(1–3 SPEC. ISS.), 11–43.

Corwin, D. L., & Lesch, S. M. (2005). Aplications of soil electrical conductivity to precision agriculture. *Agronomy Journal*, 95(3), 455-471.

Council, N. R. (1997). *Precision Agriculture in the 21st Century*. Washington, D.C.: National Academies Press.

Cox, A. B., & Gifford, F. (1997). An overview to geographic information systems. *Journal of Academic Librarianship*.

Delas J., (2000). Fertilisation de la Vigne. 2ª ed. Feret. 2010

- Dijksterhuis, H., Van Willigenburg, L., & Van Zuydam, R. (1998). Centimetre-precision guidance of moving implements in the open field: a simulation based on GPS measurements. *Computers and Electronics in Agriculture*, 20(3), 185–197.
- Eldeiry, A., & Garcia, L. A. (2009). Comparison of Regression Kriging and Cokriging Techniques to Estimate Soil Salinity Using Landsat Images. *Hydrology Days*, 136(June), 27–38.
- Ferguson, R. B., Hergert, G. W., & Specialists, E. S. (2012). Soil Sampling for Precision Agriculture. *Precision Agriculture*. Retrieved from <http://www.ianrpubs.unl.edu/live/ec154/build/ec154.pdf>
- Fitzgerald, G. J., Lesch, S. M., Barnes, E. M., & Lockett, W. E. (2006). Directed sampling using remote sensing with a response surface sampling design for site-specific agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 53(2), 98–112.
- Fortes, R., Millán, S., Prieto, M. H., & Campillo, C. (2015). A methodology based on apparent electrical conductivity and guided soil samples to improve irrigation zoning. *Precision Agriculture*, 16(4), 441–454.
- Fulton, A., Schwankl, L., Lynn, K., Lampinen, B., Edstrom, J., & Prichard, T. (2011). Using EM and VERIS technology to assess land suitability for orchard and vineyard development. *Irrigation Science*, 29(6), 497–512.
- Gan-Mor, S., Clark, R. L., & Upchurch, B. L. (2007). Implement lateral position accuracy under RTK-GPS tractor guidance. *Computers and Electronics in Agriculture*, 59(1), 31–38.
- Harrell, J. B. (2014). an Evaluation of Soil Sampling Methods in Support of Precision, (May).
- Hendershot, W.H., Lalonde, H. & Duquette, M. (1993). Soil Sampling and Methods of Analysis. Chapter 19 Ion exchange and exchangeable cations. Edited by Martin R. Carter. Canadian Society of Soil Science. Taylor & Francis Group, 114.
- Huisman, O., & By, R. a De. (2009). Principles of Geographic Information Systems An introductory textbook, 540.
- Van Landbouw M. (1981). *Agricultural compendium for rural development in the tropics and subtropics*. Elsevier Scientific Pub. Co. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/book/9780444419521>
- Javier, C., Mónica, B., & Oswaldo, E. (2015). Conductividad eléctrica aparente para delimitar zonas de manejo en un suelo agrícola con reducida variabilidad en propiedades físico-químicas Apparent Electrical Conductivity to Delineate Management Zones in an Agricultural Soil with Reduced Variability i. *Agrociencia Uruguay*, 102–111.
- Serrano, J. M., Peça, J. O., Marques da Silva, J. R., e Shaidian, S. (2010). Mapping soil and

pasture variability with an electromagnetic induction sensor. *Computers and Electronics in Agriculture*, 73(1), 7–16. Coelho, J. C., Pinto, P. A. (2015). Agricultura de precisão, (January), 238.

LEGAZ, F.; PRIMO, E. (1988). Normas para la Fertilizacion de los Agrios. 2ª ed. Valencia: Dirección General de Innovación y Tecnología Agraria.

Lesch, S. M., Corwin, D. L., & Robinson, D. A. (2005). Apparent soil electrical conductivity mapping as an agricultural management tool in arid zone soils. *Computers and Electronics in Agriculture*, 46(1–3 SPEC. ISS.), 351–378.

Li, J., & Heap, A. D. (2008). A Review of Spatial Interpolation Methods for Environmental Scientists. *Australian Geological Survey Organisation, GeoCat# 68(2008/23)*, 154.

Loide, V. (2004). About the effect of the contents and ratios of soil ' s available calcium , potassium and magnesium in liming of acid soils, 2(1), 71–82.

Lowenberg-DeBoer, J. (2015). The Precision Agriculture Revolution. Retrieved from <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&site=eds-live&db=bth&AN=102116863>

LQARS. (2006). *Manual de fertilização das culturas*, Ed.Laboratório Químico Agrícola Rebelo da Silva. INIA, Lisboa.

LQARS. (2006). *Manual de fertilização das culturas*, Ed.Laboratório Químico Agrícola Rebelo da Silva. INIA, Lisboa, 170-171

Matos, I. N. (1994). *Tapada da Ajuda – Evolução da Paisagem*,. ISA/UTL, Lisboa.

Moral, J. P., Terron, J. M., & Silva, J. R. M. da. (2010). Deliniation of management zones using mobile measurements of soli apparent electrical conductivity and multivariate gesstatistical techeniques. *Soil and Tillage Research*, 106(2), 355-343.

Medina, J. (1973). *Os solos da Tapada da Ajuda sob utilização agrícola. Trabalho realizado no âmbito do Projeto de Investigação Científica TLA/1, do Instituto de Alta Cultura, constituindo o Relatório da Atividade do aluno Estagiário do Curso de Engenheiro Agrónomo.*

Miller, J., Franklin, J., & Aspinall, R. (2007). Incorporating spatial dependence in predictive vegetation models. *Ecological Modelling*, 202(3–4), 225–242.

Mulla, D. J. (2013a). Sensing in Agriculture Review Twenty five years of remote sensing in precision agriculture : Key advances and remaining knowledge gaps. *Biosystems Engineering*, 114(4), 358–371.

Mulla, D. J. (2013). Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: Key advances and remaining knowledge gaps. *Biosystems Engineering*, 114(4), 358–371.

- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). (2018). Climate Data Online. Retrieved August 13, 2018, from <https://www7.ncdc.noaa.gov/CDO/cdoselect.cmd?datasetabbv=GSOD&countryabbv=&georegionabbv=&resolution=40>
- Oliver, M. A. (2010). *Geostatistical Applications for Precision Agriculture*. Springer Netherlands.
- Penteado, F. M. (2014). Utilização de imagens de alta resolução de Detecção Remota na gestão do montado de sobreiro
- Póvoas, I., & Barral, M. F. (1992). Métodos de análise de solos. Comunicações (Portugal). Series: Ciências Agrárias. no. 10.
- Pina, C. do V. e. (2011). *Projectos de Arquitectura Paisagista no Âmbito de Planos de Gestão de Paisagens Culturais*.
- Pringle, D. J. (2007). Spatial Interpolation Techniques. *National University of Ireland*, (1), 1–10.
- Robert, P. C. (2002). Precision agriculture: A challenge for crop nutrition management. *Plant and Soil*, 247(1), 143–149.
- Rossel, R. A. V., Taylor, H. J., & McBratney, A. B. (2007). Multivariate calibration of hyperspectral ??-ray energy spectra for proximal soil sensing. *European Journal of Soil Science*, 58(1), 343–353.
- Rossel R. A. Viscarra & McBratney A. B. (1998). Soil chemical analytical accuracy and costs: implications from precision agriculture. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 38, 765–775.
- Schollenberger, C. J., & Simon, R. H. (1945). Determination Of Exchange Capacity And Exchangeable Bases In Soil-Ammonium Acetate Method. *Soil Science*, 59(1).
- Serrano, J. M., Shahidian, S., & da Silva, J. R. M. (2013). Apparent electrical conductivity in dry versus wet soil conditions in a shallow soil. *Precision Agriculture*, 14(1), 99–114.
- Setianto, A., & Triandini, T. (2013). Comparison of Kriging and Inverse Distance Weighted (IDW) interpolation methods in lineament extraction and analysis. *Journal of Southeast Asian Applied Geology*, 5(1), 21–29.
- Sudduth, K. a., Drummond, S. T., & Kitchen, N. R. (2001). Accuracy issues in electromagnetic induction sensing of soil electrical conductivity for precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 31(3), 239–264.
- Thorp, K. R., & Tian, L. F. (2004). Performance Study of Variable-rate Herbicide Applications based on Remote Sensing Imagery, 88, 35–47.

- Trimble Navigation. (2003). *Real-Time Kinematic (RTK) Systems. Real-Time Kinematic Surveying Training Guide*. Retrieved from <http://gpstraining.com/downloads/MANUALS-QUICKGUIDES/RTKTrainingRevD.pdf>
- USDA, N. R. C. S. (2011). Soil Quality Indicators, 1–2.
- Victorino, G. F. dos S. (2015). *O efeito da posição topográfica no desenvolvimento , produtividade e qualidade em diferentes castas na vinha*.
- Vieira, G. S. R., Xavier, M. A., & Regina, C. (2008). Aplicações De Geoestatística Em Pesquisas Com Cana-De-Açúcar.
- Vories, E., Gene, W., Rhine, M., & Straatmann, Z. (2017). Investigating irrigation scheduling for rice using variable rate irrigation. *Agricultural Water Management*, 179, 314–323.
- Wollenhaupt, N. C., & Wolkowski, R. P. (1994). Grid soil sampling. *Better Crops with Plant Food*, 78(4), 6–9.
- Whelan, B. M., McBratney, A., & Minasny, B. (2002). VESPER 1.5 - Spatial prediction software for precision agriculture. 6th International Conference on Precision Agriculture, 1–14.
- Zhu, Q., Lin, H. e Doolittle, J. (2010). Repeated Electromagnetic Induction Surveys for Determining Subsurface Hydrologic Dynamics in Agriculture Landscape. *Soli Scince Society of America Journal*, 75(5), 1750-1762.

7. ANEXOS

Figura 44 - Vinha dos Brancos, linhas e estações (Orientação Este – Oeste).

[illegible]

Semi-variogramas ajustados para cada variável

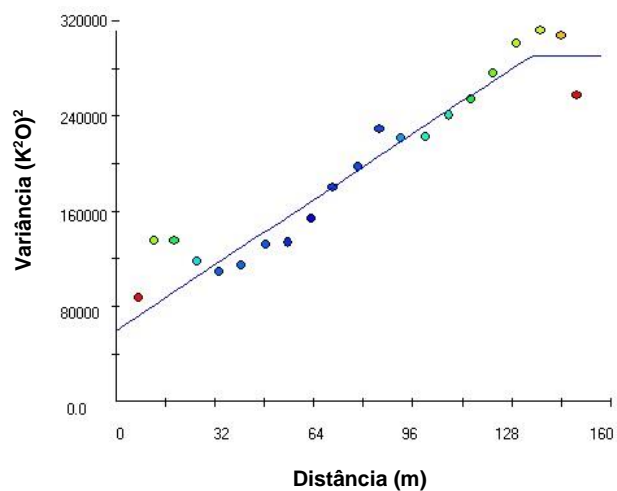


Figura 45 – Semi-variograma de K_2O .

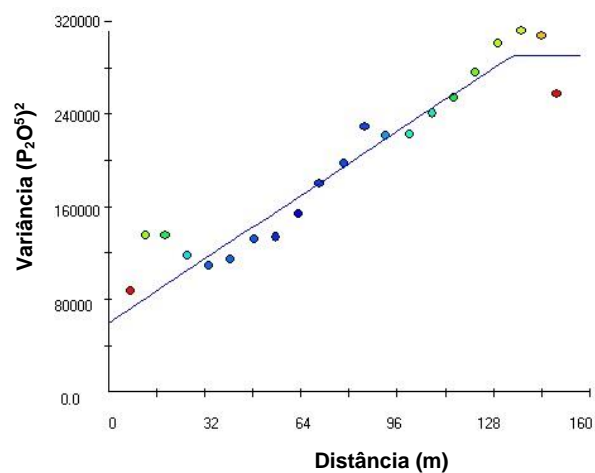


Figura 46 - Semi-variograma P_2O_5 .

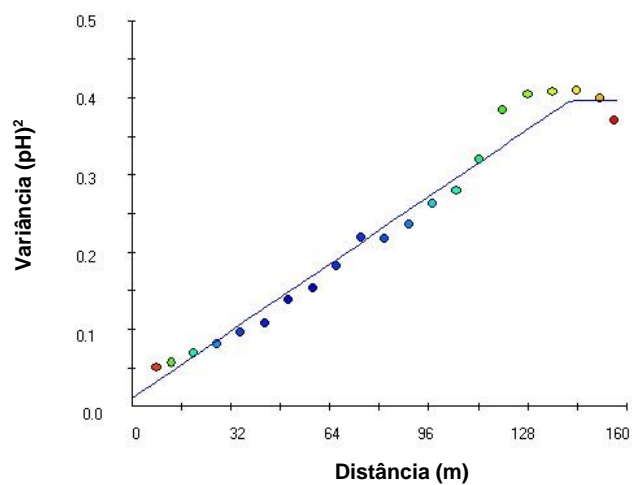


Figura 47 – Semi-variograma pH em H_2O .

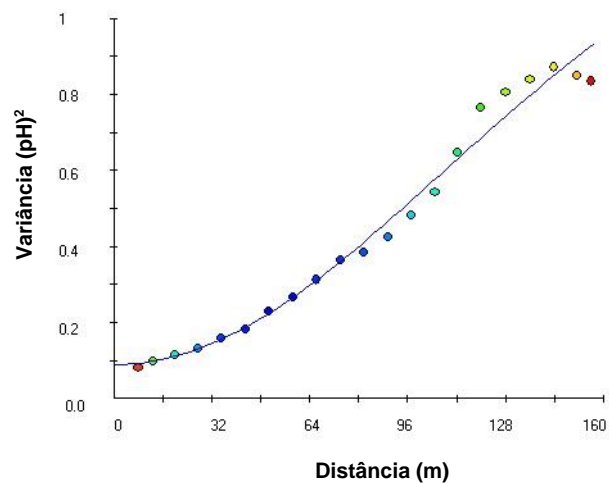


Figura 48 – Semi-variograma de pH em KCl.

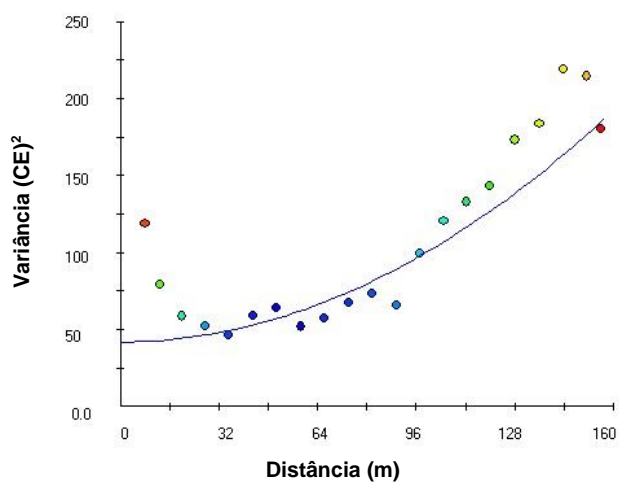


Figura 50 – Semi-variograma da condutividade elétrica.

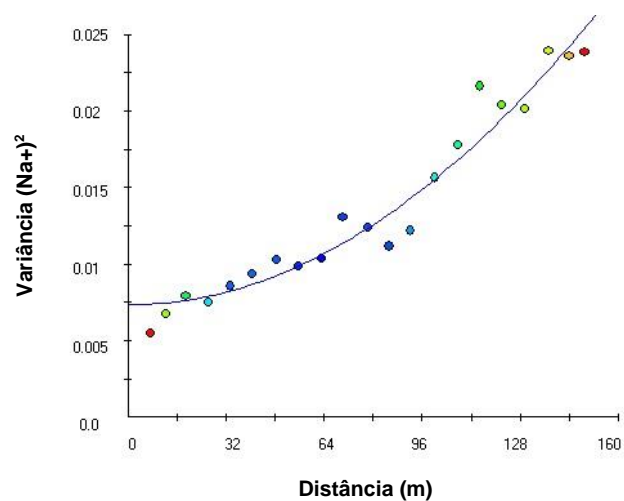


Figura 49 – Semi-variograma sódio (Na⁺).

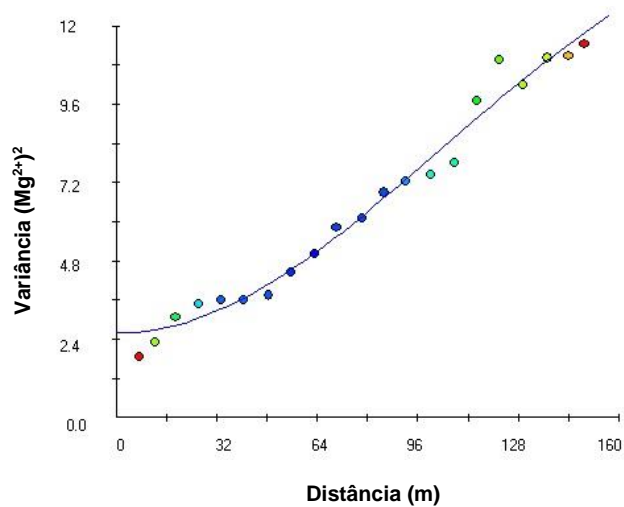


Figura 52 – Semi-variograma do Magnésio (Mg²⁺).

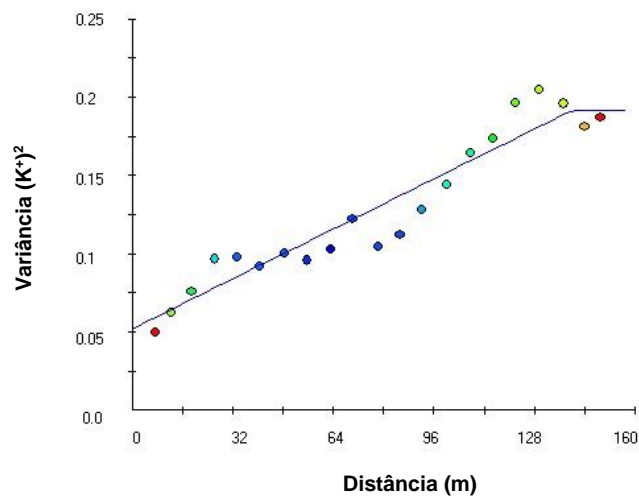


Figura 51 – Semi-variograma do potássio (K⁺).

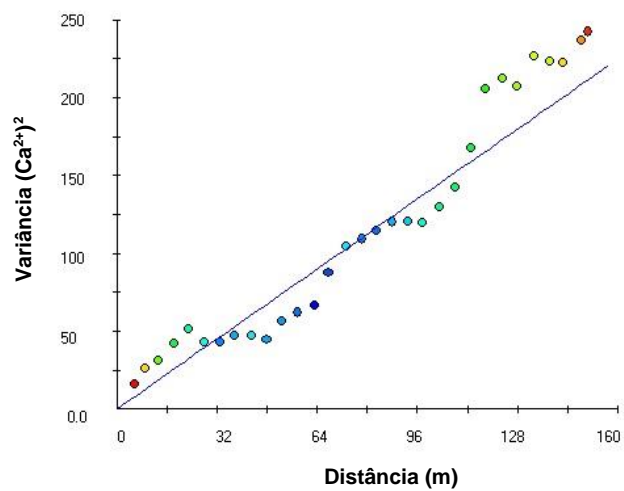


Figura 53 – Semi-variograma do cálcio (Ca^{2+}).

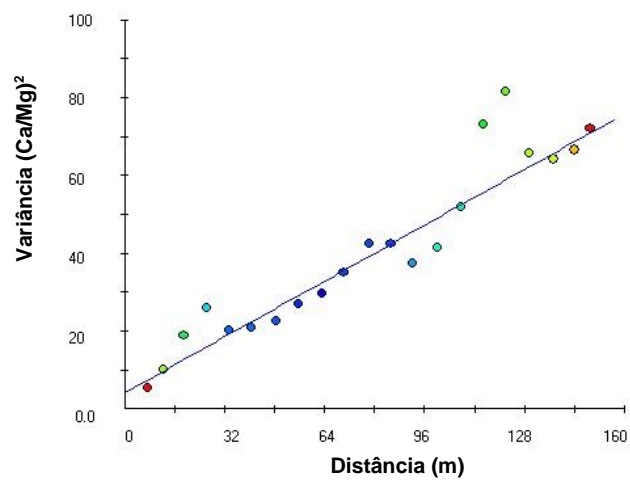


Figura 54 – Semi-variograma da razão Ca/Mg .

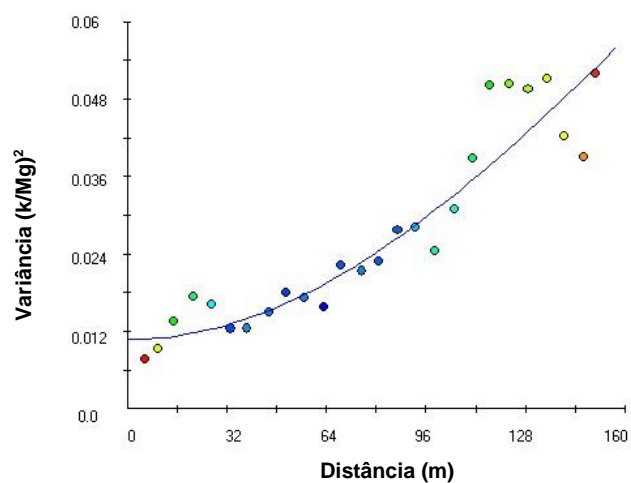


Figura 55 – Semi-variograma da razão k/Mg .